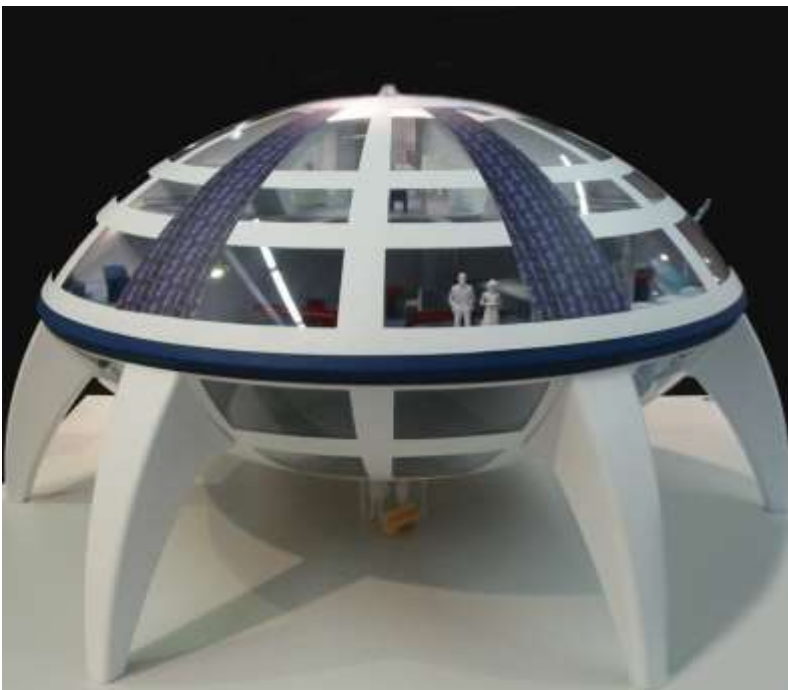


2014

**IMPIANTI TERMOTECNICI - VOLUME IB
RISCALDAMENTO**



PROF. GIULIANO CAMMARATA

Dipartimento di Ingegneria

Industriale di Catania

A.A 2014/15

FILE: IMPIANTI TERMOTECNICI - VOLUME 1B NO - 14.docx

AUTORE: Giuliano;Cammarata

DATA: 5 OTTOBRE 2014

www.giulianocammarata.it
gcamma@diim.unict.it
cammaratagiuliano@gmail.com

La riproduzione a scopi didattici di quest'opera è libera da parte degli Studenti purché non siano cancellati i riferimenti all'Autore sopra indicati. Non sono consentiti usi commerciali di alcun genere senza il consenso dell'Autore

STRUTTURA DEL VOLUME

<u>1.</u>	<u>GLI IMPIANTI MECCANICI</u>	<u>1</u>
<u>2.</u>	<u>IMPIANTI DI RISCALDAMENTO*</u>	<u>10</u>
<u>3.</u>	<u>DECRETO LEGISLATIVO 102 – 2014</u>	<u>124</u>
<u>4.</u>	<u>MODELLO <i>R5C1</i> DELLA UNI EN 13790</u>	<u>127</u>
<u>5.</u>	<u>SOLUZIONE DEL MODELLO <i>R5C1</i></u>	<u>138</u>
<u>6.</u>	<u>IMPIANTI MECCANICI IN EDIFICI AD ALTE PRESTAZIONI ENERGETICHE*</u>	<u>211</u>
<u>7.</u>	<u>ANALISI TERMICA DINAMICA DEGLI EDIFICI*</u>	<u>219</u>
<u>8.</u>	<u>INDAGINI ENERGETICHE SUGLI EDIFICI</u>	<u>227</u>
<u>9.</u>	<u>RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA EDIFICI</u>	<u>245</u>
<u>10.</u>	<u>PROGETTO IMPIANTI DI RISCALDAMENTO*</u>	<u>282</u>
<u>11.</u>	<u>COMPONENTI PRINCIPALI DI IMPIANTO*</u>	<u>330</u>
<u>12.</u>	<u>DICHIARAZIONE ISPESL</u>	<u>471</u>
<u>13.</u>	<u>SIMBOLISMO PER IMPIANTI MECCANICI</u>	<u>508</u>

INTRODUZIONE AL RISCALDAMENTO

La problematica del riscaldamento degli edifici nasce con l’Uomo e fin dall’antichità ha posto notevoli problemi sia energetici che ambientali. Nell’antichità il riscaldamento degli ambienti era del tutto spontaneo e quasi sempre attuato con mezzi essenziali (braceri, camini). Nelle terme romane si aveva un accenno di impianto di riscaldamento ambientale con vapore.

Fino all’inizio del secolo scorso erano gli edifici che erano capaci di offrire riparo rispetto alle condizioni climatiche esterne con poco dispendio di energia. Poi, come già accennato, l’utilizzo di strutture intelaiate con murature leggere ha modificato sensibilmente il comportamento termico degli edifici fino a richiedere un forte intervento impiantistico detto anche *attivo* in contrapposizione al riscaldamento *passivo* realizzato mediante una mirata progettazione dell’involucro edilizio, come si dirà nel prosieguo a proposito dell’edilizia bioclimatica.

Storicamente l’impiantistica moderna nasce con l’impianto di riscaldamento della *Parliament House* di Londra alla fine dell’ottocento. I problemi termici e igrometrici, dovuti anche alla vicinanza del Tamigi, avevano dato origine ad una commissione di studio dalla quale scaturì la costruzione dell’impianto di riscaldamento e ventilazione.

Si è già visto nel Volume 1A come la *Termofisica dell’Edificio* sia importante per la conoscenza dell’evoluzione termica degli stessi edifici e come questa sia alla base di qualsivoglia calcolo di carichi termici (estivi e/o invernali).

A partire dal 1976, con la L. 373/76, il Legislatore ha cercato di limitare i consumi energetici negli edifici con una serie di leggi e norme tecniche che hanno legato le prestazioni energetiche a due parametri fondamentali di progetto: il rapporto di forma S/V dell’edificio (quindi in qualche modo la sua architettura) e i gradi-giorno (GG, legati al clima) del luogo.

Alla 373/76 è seguita la L. 10/91 e poi, in seguito al recepimento della direttiva 2002/91/CE, il D.Lgs. 192/05 (che ha introdotta la *certificazione energetica degli edifici*) al quale sono seguite una pletora di altre norme e decreti attuativi ancora in corso ai nostri giorni.

La direttiva 2010/31/CE sugli edifici QZE (*Quasi Zero Energia*) è stata recepita con il decreto 63/2013 che aggiorna ancora il D.Lgs. 192/05. Tuttavia mancano ancora i decreti attuativi.

Infine, quale recepimento della direttiva 2009/28/CE, è stato emesso il D.Lgs. 28/2011 che impone l’utilizzo di fonti rinnovabili con una quota variabile dal 20%, fino al 31/12/2013, al 50% a partire dal 1/01/2017.

Quest'ultimo decreto unitamente all'applicazione delle norme sugli edifici a *QZE* costituiscono la base legislativa e normativa per la progettazione degli impianti meccanici degli edifici.

Questi, infatti, non debbono più essere visti come un'aggiunta più o meno artificiosa degli edifici stessi, come strutture posticce da applicare indipendentemente dall'architettura e dalle prestazioni degli edifici. Adesso gli impianti meccanici debbono far parte integrale, in un unico organismo architettonico-impiantistico, dell'edificio in quanto i suoi componenti sono indispensabili e irrinunciabili per raggiungere gli obiettivi che le leggi e le norme richiedono.

La nuova sfida progettuale è proprio quella di una piena integrazione degli impianti negli edifici e di progettare questi ultimi con una nuova filosofia che li veda come parte attiva nelle prestazioni energetici (edilizia passiva, architettura bioclimatica, ...).

Nel corso di questo volume si parlerà degli impianti di riscaldamento e sulle metodologie di progettazione. Si vedrà come questa progettazione sia ampiamente condizionata dall'applicazione delle numerose norme legislative e tecniche attualmente vigenti e cogenti.

Anche l'uso di CAD termotecnici è ormai legato al rispetto della normativa vigente, come si avrà modo di verificare.

Gli impianti di riscaldamento costituiscono il minimo indispensabile per l'impiantistica negli edifici. Esi debbono garantire le condizioni di comfort invernale e tutte le norme attualmente in vigore li considerano pressoché obbligatori. Del resto la mancanza di impianti di riscaldamento determina una perdita di valore dell'immobile di almeno il 20%.

Le tecnologie utilizzate per il riscaldamento ambientale sono le più consolidate anche se cominciano ad affacciarsi soluzioni avanzate, vedansi le pompe di calore, che garantiscono maggiore efficienza e conseguentemente un maggior risparmio energetico, in ottemperanza alle direttive europee.

Nel presente volume sono affrontati anche i temi delle indagini energetiche negli edifici e la riqualificazione energetica che interesserà gran parte del parco edilizio esistente.

Allo scopo di guidare gli Allievi nel loro studio, vista anche la vastità e complessità della materia, i capitoli o i paragrafi che si ritengono più importanti sono contrassegnati con un asterisco.

Buon lavoro.

Catania 5 ottobre 2014

Prof. Ing. Giuliano Cammarata

1. GLI IMPIANTI MECCANICI

1.1 LE PROBLEMATICHE ENERGETICHE

Le crisi energetiche prima e quelle finanziarie più recenti hanno sensibilizzato gli stati e l'Unione Europea ad una politica energetica che può essenzialmente riassumersi in tre direttrici:

- 1) *riduzione dei consumi energetici sia nel settore industriale che in quello terziario;*
- 2) *miglioramento delle efficienze energetiche dei componenti e degli impianti;*
- 3) *utilizzo di fonti di energia rinnovabili (FER).*

Quanto detto è esplicitamente indicato nella direttiva del 18/12/2008, la 2009/28/CE, nota anche come *direttiva clima-energia 20-20-20*.

Nel settore terziario una percentuale di circa il 40% del consumo totale di energia si ha nell'edilizia (pubblica e privata) e ciò giustifica l'interesse dell'UE ad azioni politiche e tecniche atte a ridurre i consumi energetici in questo settore.

La direttiva 2002/91/CE introduce per prima il pacchetto di norme EPBD sul miglioramento dell'efficienza energetica e sulla certificazione energetica degli edifici e sostituisce, a partire dal 2012, la precedente direttiva EPBD. In Italia tale norma é stata recepita con il D.Lgs. 192/95 e successive modificazioni.

La direttiva 2009/28/CE introduce indicazioni sull'utilizzo delle fonti di energia rinnovabili negli edifici, in attuazione della direttiva clima-energia. In Italia tale direttiva è stata recepita con il D.Lgs. 28/2011 che introduce norme sull'utilizzo delle FER con una percentuale di integrazione del 50% a partire dal 2017, sempre sui nuovi edifici. Inoltre la direttiva 2010/31/CE ridefinisce gli standard di efficienze energetica negli edifici (nuova EPBD) introducendo l'obiettivo di avere edifici di nuova costruzione a *quasi zero energia* (QZE) a partire dal 2020 per edilizia privata e dal 2018 per l'edilizia pubblica.

Non sfugge l'azione a tenaglia che il Legislatore vuole realizzare: da un lato occorre incrementare il contributo delle fonti rinnovabili ma non è immaginabile agire su un edificio tradizionale con bassa o scarsa efficienza energetica. Occorre intervenire su un edificio che già di suo ha un comportamento energetico virtuoso, cioè un edificio che sia *quasi zero energia* e cioè che richieda un'integrazione energetica esterna molto bassa. Del resto se l'utilizzo di fonti rinnovabili, quale l'energia solare (sia termica che fotovoltaica) richiede la disponibilità di ampie superfici attrezzate non si può pensare di soddisfare il requisito del 50% di integrazione di FER con la superficie disponibile in copertura degli edifici o in aree di pertinenza.

La conseguenza di questo semplice ragionamento è che occorre cambiare i canoni progettuali attualmente utilizzati verso criteri più conservativi. In pratica occorre fin dall'inizio del processo progettuale immaginare un comportamento passivo dell'edificio in modo da ridurre al massimo l'apporto energetico esterno e quindi anche di FER.

Anche la progettazione impiantistica deve tenere conto del cambiamento del soggetto architettonico e deve ricercare tipologie impiantistiche più congruenti sia con la nuova tipologia di edifici che con la migliorata efficienza energetica dei componenti meccanici.

In definitiva gli edifici QZE (Quasi Zero Energia) debbono scaturire da una sinergia progettuale fra le varie componenti architettoniche ed impiantistiche.

Così, ad esempio, una vetrata non ha solamente funzioni visive e di illuminazione ma può divenire un elemento fondamentale di una serra addossata, un muro esterno esposto a sud può diventare un componente fondamentale di un sistema Trombe-Michell o anche di un sistema Barra - Costantini. Il terreno sottostante ed adiacente all'edificio può diventare essenziale per l'utilizzo geotermico a bassa entalpia.

Un edificio passivo è di fatto un collettore solare naturale in cui ogni elemento architettonico costitutivo ha una funzione anche termo-fluidodinamica e climatologica. In definitiva l'edilizia passiva deve adottare i canoni tipici dell'Architettura Bioclimatica.

Lo studio degli edifici vernacolari diviene essenziale per meglio comprendere i meccanismi bioclimatici sperimentati per secoli negli edifici antichi. Occorre analizzare quelle forme, quei materiali, quelle tipologie edilizie nel loro contesto territoriale.

Un altro concetto importante per la progettazione di edifici QZE è l'ottimizzazione funzionale di ogni componente. Così, ad esempio, occorre ridurre il più possibile i ponti termici con un'accurata progettazione delle giunzioni, della stratigrafia delle pareti, della posizione dell'isolante, etc.

1.2 EDIFICI A ZERO ENERGIA

La problematica della riduzione dei fabbisogni energetici negli edifici risale già al periodo delle prime crisi energetiche in occasione delle guerre arabo – israeliane. Già negli anni 'settanta si parlava di case passive a zero energia. Lo spirito con cui vennero affrontate queste tematiche sono ancora oggi frutto di interessanti considerazioni.

Anche l'ASHRAE¹ ha sviluppato studi sul tema dei *Zero Energy Building, ZEB*, e in genere si accetta la definizione di ZEB come *“un edificio residenziale o terziario con una richiesta di energia globale annuale molto esigua (edifici passivi) e tale da potere essere soddisfatta dalla produzione di energia da fonti rinnovabili in situ”*.

Questa definizione sottende un bilancio continuo fra la domanda energetica e la produzione locale con fonti rinnovabili.

Un tale edificio risulta più complesso da progettare dovendo contare solamente sulla proprie disponibilità energetica e tenendo conto di eventuali sfasamenti fra produzioni energetiche (ad esempio solari) ed utilizzo. In pratica uno ZEB può essere distaccato dalle reti energetiche esterne rimando del tutto autosufficiente.

Meno stringente e certamente più facili da progettare possono essere i , *NZEB*, che, a differenza degli ZEB, presentano *“nell'arco di un anno solare una somma algebrica dei flussi energetici in ingresso e in uscita pari a zero”*.

In definitiva non occorre che istante per istante ci sia un equilibrio fra flussi energetici entranti ed uscenti ma mediamente nell'arco di un anno questi flussi energetici debbono pareggiarsi.

In questo caso giocano un ruolo fondamentale gli accumuli energetici e l'interconnessione in rete degli edifici.

¹ American Society of Heating Refrigerating Air Engineering

Così, ad esempio, il problema dello sfasamento fra la produzione di energia solare fotovoltaica (durante il giorno) e il momento di utilizzo (durante la sera o anche di notte) viene risolto riversando nella rete elettrica esterna l'energia prodotta in eccesso e prelevandola quando l'energia prodotta è in difetto rispetto alle esigenze dell'edificio. Si può dire che l'edificio è *grid connected* e la rete (*grid*) funge da accumulo energetico. La stessa osservazione può farsi per l'energia eolica autoprodotta.

Un discorso più ampio può essere fatto anche fra bilanci stagionali che possono essere positivi (cioè si produce più energia di quanta richiesta) in estate e negativa in inverno. Il bilancio complessivo viene effettuato nel medio periodo pari ad un anno solare.

Il bilancio dei flussi energetici deve essere effettuato all'interno di un *volume di controllo* dell'edificio ed eventualmente delle sue zone di pertinenza.

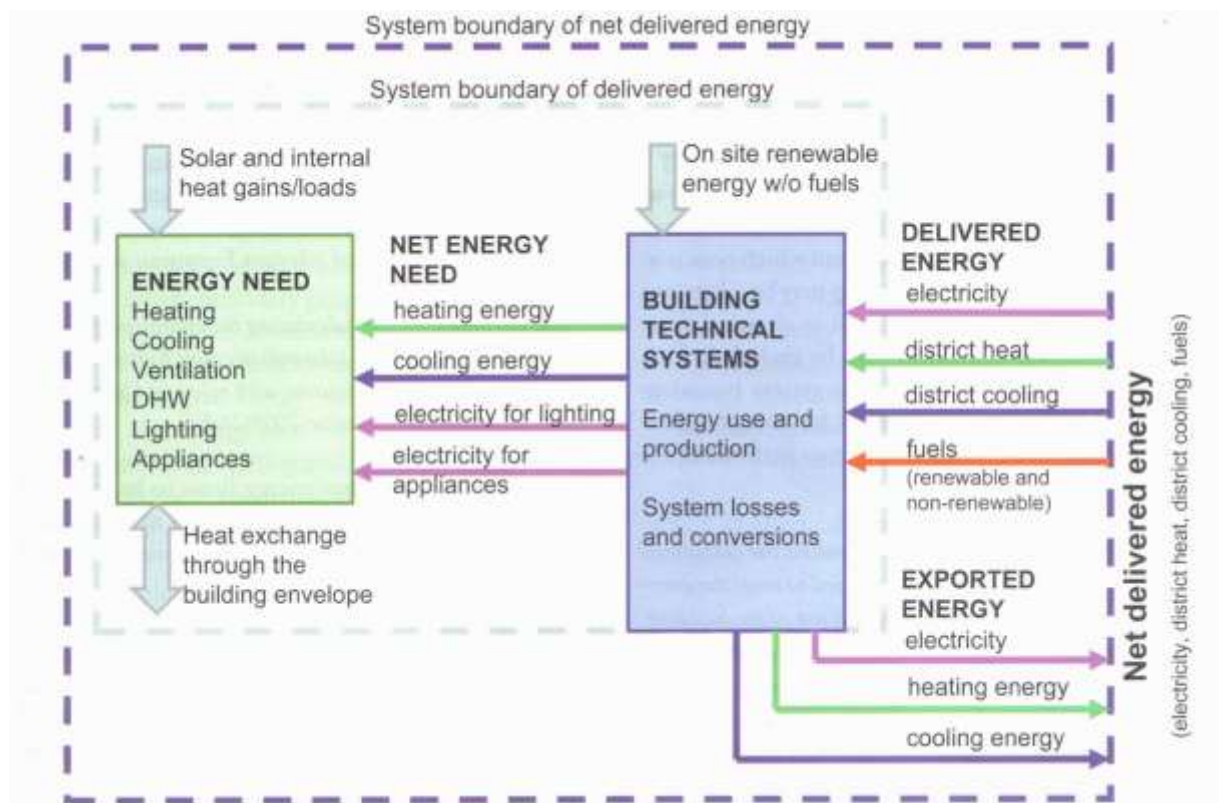


Figura 1: Volume di controllo dell'edificio ai fini degli scambi energetici

Si osservi che ci si può riferire all'energia, ad esempio espressa in kWh/(m².a), ma anche ad altri indicatori quali, ad esempio, quelli economici (costo annuo di energia in €/m²) o di inquinamento (emissioni di CO₂). In tutti i casi il bilancio annuale nullo non significa costo energetico nullo o emissione di CO₂ nulle. Un concetto meno vincolante del *Net Zero Energy Buildings* è quello di *Near Net Zero Energy Buildings*, *NNZEB*: si tratta di edifici ad altissima prestazione energetica e tali da richiedere un fabbisogno energetico molto basso a sua volta quasi del tutto bilanciato da fonti energetiche rinnovabili in loco o nelle vicinanze.

E' questo il concetto seguito dall'Unione Europea nella sua definizione di *Near Zero Energy Buildings*, come si vedrà nel successivo paragrafo. Di recente si stanno sviluppando nuovi criteri progettuali che tengono conto dei criteri di risparmio energetico anche per l'urbanistica. Ad esempio un criterio applicato in Danimarca è il *Consumo Di Zona*, *CDZ*, inteso come consumo globale per abitante e per anno per la vita normale in un quartiere (Zona) considerando, oltre ai consumi energetici degli edifici, anche quello per il mantenimento della Zona (ad esempio illuminazione) e per gli spostamenti mediante mezzi pubblici. Detto indice tiene conto anche dell'orografia della zona.

I consumi di zona raggiungono valori di 10-20 MWh/abitante/anno.

Si vedrà nel prosieguo come la problematica della riduzione dei consumi energetici nel terziario (e nell'edilizia in particolare) porta ad avere un minore consumo dovuto ai carichi termici degli edifici stessi e ad una maggiore efficienza dei componenti di impianto.

Inoltre l'inizio della validità della direttiva FER (Fonti Energetiche Rinnovabili) a partire dal 01/06/2011 con integrazione al 20% dell'energia primaria lega fortemente l'impiantistica meccanica agli edifici.

1.3 PRESENTAZIONE DEGLI IMPIANTI MECCANICI

Gli *Impianti Termotecnici* (oggi meglio indicati come *Impianti Meccanici*) sono inseriti in strutture fra loro molto diversificate per la loro destinazione d'uso. Si parla di impianti termotecnici in edifici (civili, industriali, ...), nelle navi, negli aerei, nelle stazioni di ricerca polari, nelle astronavi e, in domani forse non molto lontano, in stazioni planetarie spaziali².

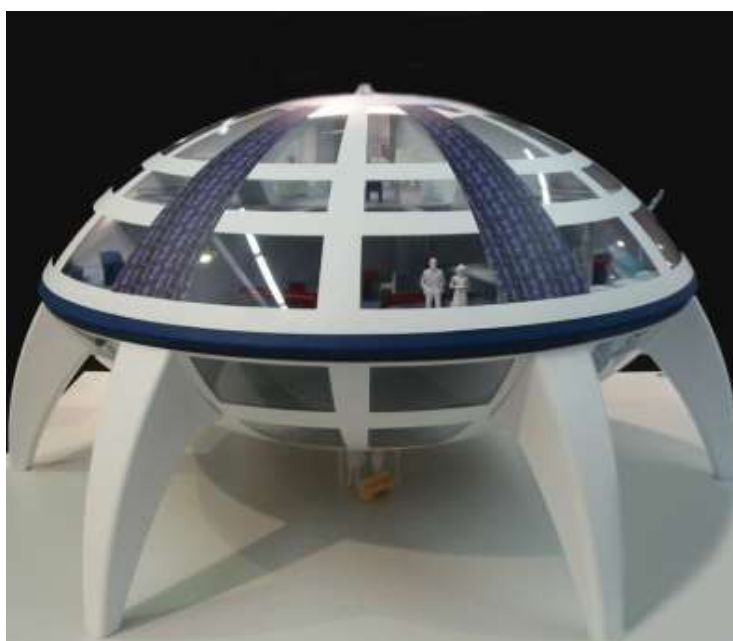


Figura 2: Esempio di struttura spaziale proposta come struttura antisismica terrestre

In tutti i casi la finalità dell'inserimento degli *Impianti Termotecnici* è quella di consentire il normale svolgimento della vita dell'Uomo o di creare condizioni ambientali ottimali per lavorazioni industriali o per altre finalità produttive. Certamente si hanno grandi differenze fra gli impianti di climatizzazione in edifici civili e gli impianti di climatizzazione di un aereo o di una industria. Tuttavia le problematiche impiantistiche sono concettualmente simili per i vari casi e pertanto l'approfondimento di una tipologia applicativa può essere di grande ausilio per le altre.

In questo corso si parlerà prevalentemente di *Impianti Termotecnici* in edifici e si faranno brevi riferimenti ad alcune tipologie impiantistiche innovative. Il problema fondamentale da risolvere è di creare all'interno degli ambienti le migliori condizioni di comfort (*vedi il prossimo capitolo*) possibili. In genere basterà sostituire l'obiettivo di *miglior comfort ambientale* con quello di *migliori condizioni operative* (ad esempio per *applicazioni industriali*) per avere una nuova metafora progettuale generale.

² Quest'ultima possibilità è già allo studio presso gli enti di ricerca spaziali (ESA, NASA, ...) sia in previsioni di futuri insediamenti (sulla *Luna*, su *Marte*) ma anche per le notevoli ricadute anche per le costruzioni terrestri, quali, ad esempio, strutture al limite della sopravvivenza (stazioni polari), strutture sottomarine, strutture antisismiche totali.



Figura 3: Esempio di sopravvivenza al limite nello spazio ottenuta con ambiente artificiale



Figura 4: Esempio di edilizia in climi rigidi – Città di Tampere (Finlandia)

Infatti, ad esempio, gli edifici industriali destinati alla produzione di componenti elettronici (*dischi, processori, memorie, ...*) sono oggi considerati fra i più tecnologici, eppure gli impianti termotecnici non sono concettualmente distanti da quelli civili.

Basta considerare la temperatura di progetto pari a quella ottimale di lavorazione (*anziché quella di maggior comfort*), così pure per l'umidità relativa, la portata di ventilazione e la qualità dell'aria (*filtrazione*) desiderata per avere tutte le specifiche di progetto necessarie per la progettazione degli impianti. Prima di procedere è opportuno fare qualche considerazione storica sugli impianti nell'edilizia. Fino all'inizio del *'novecento* gli edifici presentavano una percentuale di impianti (in tutti i sensi) non superiore al 3% del costo totale degli immobili. Nei casi migliori si aveva un impianto fognario (*magari con pozzo nero esterno*) e un impianto idrico interno.

Si ricordi che fino a qualche decennio fa molti edifici non avevano i bagni interni e le stesse cucine presentavano notevoli problemi di igiene oggi certamente non accettabili. Molti Comuni d'Italia hanno costruito le reti fognanti nel dopoguerra e così pure le reti idriche comunali³.

³ Una frase tipica del dialetto siciliano per indicare *grande confusione* è "*mi misi l'acqua rintra*". Questa frase si riferisce, infatti, alla grande confusione che i primi utenti degli acquedotti comunali di un quartiere avevano in casa loro perché tutto il vicinato ne approfittava per approvvigionarsi d'acqua presso di loro anziché andare nelle fontane pubbliche più distanti ed affollate.

Anche considerando gli impianti idrici e fognari estesi a tutti gli ambienti di un edificio la percentuale degli impianti non superava il 5% del valore totale degli immobili.



Figura 5: Stazione di ricerca polare

Quando la disponibilità del petrolio lo ha consentito (primi decenni del 'novecento) si è pensato di riscaldare gli edifici mediante impianti di riscaldamento (quasi esclusivamente con radiatori alimentati a circolazione naturale, detta *a termosifone* per mancanza di energia elettrica) e la percentuale dell'impiantistica è salita al 7-10%. Successivamente si è cominciato a distribuire energia elettrica nelle grandi città e gli edifici si sono così arricchiti di una impiantistica elettrica interna, seppure ancora in fase iniziale, che ha portato la percentuale degli impianti, sempre in edifici avanzati, a circa il 12-15% del costo totale. Sempre nel 'novecento si ha la nascita e la diffusione della telefonia, la diffusione degli ascensori elettrici, l'automazione dei servizi interni degli edifici e la percentuale degli impianti è ulteriormente cresciuta a circa il 20%. Oggi gli impianti correlati a vari servizi interni degli edifici sono ancora cresciuti di complessità e peso. Basti pensare che in un moderno edificio (*ospedali, tribunali, edifici pubblici, alberghi, ...*, per non dire di edifici industriali ad alta tecnologia quali quelli destinati all'elettronica) si hanno impianti di vario tipo:

- Idrico-sanitari;
- Fognari;
- Elettrici;
- Telefonici;
- Trasmissione dati (*Ethernet e reti di vario tipo*);
- Illuminotecnici interni ed esterni;
- Rilevamento di presenza;
- Controllo e sicurezza (*anti intrusione*);
- Riscaldamento;
- Condizionamento⁴
- Termoventilazione.

⁴ Ancora oggi si costruiscono impianti separati per il riscaldamento e per il condizionamento estivo nella convinzione (*ancora diffusa e generalizzata*) che questa divisione sia economicamente conveniente rispetto agli impianti di climatizzazione completi.

La percentuale dell'impiantistica oggi raggiunge percentuali elevatissime (fra 60-75% del costo totale) impensabili un secolo fa. Inoltre la gestione di tutti questi impianti risulta oggi complessa e delicata tanto da costruire sistemi di gestione del tutto automatizzati e controllati mediante computer. Sono così nati neologismi del tipo *intelligent building* per indicare edifici tecnologicamente avanzati e con impiantistica complessa dotata di controllo elettronico. Oggi, quindi, la percentuale degli impianti rispetto al costo totale dell'edificio è divenuta *prevalente* rispetto al costo stesso della costruzione, almeno per le tipologie edilizie più tecnologiche ed impegnative.

Tuttavia in Italia, per effetto delle ultime leggi emanate nel settore delle opere pubbliche (L 109/1994 detta *Legge Merloni*, DPR 454/1999 e L 7/2002 *Regione Sicilia*) la figura professionale prevalente è ancora quello del *Progettista Edile*. Lo stesso è avvenuto per la *Direzione dei Lavori* che è unica ed affidata al *Progettista Edile*. Mentre prima dell'entrata in vigore di queste leggi esistevano più figure professionali specialistiche (*Progettista e Direttore dei Lavori edili*, *Progettista e Direttore dei Lavori per gli impianti elettrici*, *Progettista e Direttore dei Lavori per gli impianti termotecnici*, *Progettista e Direttore dei Lavori per le opere di cemento armato*) oggi la figura unica del *Direttore dei Lavori* porta ad avere solo collaborazioni esterne, dette *Direttori Operativi*, con funzione prevalentemente consultiva e con poco peso direttivo.

Lo stesso è avvenuto per gli appalti privilegiando le *Imprese Edili* rispetto a quelle specializzate negli impianti ormai rilette a ruoli secondari⁵ e solo in casi di particolare importanza (*ad $\tau_0 = R \cdot C$ esempio per edifici tecnologicamente avanzati quali ospedali, industrie tecnologiche, ...*) attori comprimari in *Associazione Temporanea di Imprese (ATI)*.

Non si vuole qui criticare l'impianto legislativo attualmente vigente ma solo far osservare come l'esigenza di un controllo centralizzato della gestione dell'appalto e la necessità di evitare possibili cause di conflittualità fra varie figure professionali e imprenditoriali ha reso possibile la sottovalutazione dell'impiantistica (*di qualunque tipo*) rispetto all'edilizia e ciò malgrado, in base a quanto detto in precedenza, che l'incidenza delle opere edilizie sia oggi spesso minoritaria negli edifici più complessi e tecnologicamente più impegnativi.

Appare strano, infatti, che il Progettista di *minoranza* abbia prevalenza sugli altri o quanto meno non vi sia un ruolo di comprimarietà fra tutti i progettisti. Si avverte spesso, infatti, una mancanza di comunicazione fra le parti con effetti deleteri sulla qualità del progetto finale.

Costituisce quindi una "*esigenza fondamentale che la progettazione architettonica-strutturale e la progettazione termotecnica-impiantistica procedano di pari passo ed in maniera integrata, dall'elaborazione preliminare del progetto sino alla definizione degli elaborati esecutivi*" (dalla Circolare Ministero Industria 13.12.93 n. 231 F).

Ritornando al problema dell'impiantistica negli edifici si vuole qui puntualizzare l'esigenza, oggi inderogabile, dell'impiantistica termotecnica in un moderno edificio (*sia civile che industriale*).

Si è visto nel Volume 1A *l'Energetica degli Edifici*, come l'evoluzione della moderna *Architettura* abbia portato ad uno scollamento fra le capacità termofisiche e la capacità di mantenere quasi autonomamente un microclima interno. In pratica si vedrà come la **capacità termica** (*Massa per calore specifico*) e la **resistenza termica** giochino un ruolo fondamentale nella cosiddetta **costante di tempo** dell'edificio ($\tau_0 = R \cdot C$): quanto maggiore è la costante di tempo tanto minori sono le oscillazioni termiche interne dell'edificio e quindi tanto migliore il comportamento termico dello stesso:

⁵ Oggi assistiamo sempre più spesso ad affidamenti in sub appalti di opere impiantistiche di vario genere. Le imprese impiantistiche sono in grave difficoltà dovendo affrontare una concorrenza spietata, spesso senza regole, per avere un contratto. Tutto ciò avviene, è bene sottolinearlo, a scapito della qualità dei manufatti, spesso anche della sicurezza operativa (per l'eccessiva riduzione dei costi).

Potendosi scrivere che vale la relazione $\tau_0 = R \cdot C$ (con τ_0 costante di tempo, R resistenza termica, C capacità termica) si deduce che con la riduzione della massa dell'edificio (*a causa dell'utilizzo di murature sempre più leggere e al sopravanzare dell'edilizia industrializzata*) la capacità termica C diminuisce e, a pari resistenza termica R , anche τ_0 .

Pertanto quando fino all'*ottocento* si costruivano gli edifici con muratura portante, quindi con muri di grande spessore per necessità costruttive, si avevano edifici termicamente più efficienti⁶ rispetto agli odierni edifici costruiti con strutture intelaiate in cemento armato (*quindi la capacità portante delle murature è venuta meno*) e con muri poco spessi, leggeri e in qualche caso addirittura mancanti.

Inoltre la mancanza di portanza delle murature ha reso possibile l'utilizzo di finestre vetrate di proporzioni generose (*si pensi alle finestre a nastro a tutta parete*) con effetti sensibili sull'*effetto serra* e quindi sul *surriscaldamento* interno degli ambienti.

La riduzione di massa delle pareti⁷ comporta, se non attentamente controbilanciata, anche una riduzione della resistenza termica e pertanto la riduzione della costante di tempo τ_0 risulta amplificata con effetti ancor più deleteri sul comportamento termico degli edifici.

In definitiva per decenni (in un arco temporale che va dal primo decennio alla fine degli anni *settanta* del secolo scorso) si è avuto uno sviluppo selvaggio ed incontrollato dell'*Architettura* che ha reso gli edifici totalmente svincolati dalle esigenze geometriche e costruttive delle murature portanti (*sempre presenti dalle fondazioni fino al tetto, perfettamente a piombo e di spessore decrescente verso l'alto*) e sottoposti solamente al gusto estetico del *Progettista*.

Adesso le pareti possono esistere o non esistere, tanto ci pensano le strutture portanti in cemento armato a tenere in piedi gli edifici! Possono esserci corpi aggettanti, possono esserci piani senza pareti (vedansi i *pilotis*), possono esserci pareti totalmente vetrate, ...

Possiamo costruire grattacieli interamente vetrati, dei veri e propri *buchi termici* in grado di esistere (*cioè di consentire la vita all'interno*) solo perché dotati di adeguati impianti di climatizzazione.

La metafora che per quei decenni anzidetti è stata realizzata è stata la seguente: *costruiamo gli edifici come ci pare e piace tanto ci penseranno gli impianti termotecnici a rimettere le cose a posto*. Questo comportamento è stato devastante sotto tutti i punti di vista perché le opere architettoniche della prima parte del '*novecento* sono destinate a sparire in breve tempo lasciando un vuoto culturale notevole.

Le opere di *Wright*, di *Le Corbusier* e di tanti altri maestri del '*novecento* stanno per sparire perché cadono a pezzi e si spendono molti soldi per tenerle ancora in piedi. Quando sono state realizzate, infatti, non si sono tenuti in considerazione gli effetti dell'umidità sui materiali costruttivi (si veda il *diagramma di Glaser* nel prosieguo) e l'effetto delle radiazioni solari sulle superfici delle pareti.

A partire dagli anni '*settanta* già la *Commissione per l'Ambiente* dell'allora *Comunità Economica Europea* (oggi *Unione Europea*) pubblicò un rapporto tecnico denominato *Energy building conscious design* che pose ben in evidenza gli errori progettuali fatti fino a quel momento.

In quel periodo, sulla spinta delle varie crisi energetiche di quel periodo, prendeva coscienza anche un movimento architettonico centrato sulla *progettazione bioclimatica* che in qualche modo ripristinava i giusti equilibri fra la capacità termica e la resistenza termica (si veda il sull'*Architettura Bioclimatica*).

Dopo la pubblicazione di questo rapporto si è cercato di prendere coscienza delle problematiche energetiche connesse agli edifici.

⁶ Bastava un semplice camino o qualche braciare per riscaldarsi.

⁷ Oggi sono utilizzati mattoni forati o materiali sempre più alleggeriti anche per motivi sismici.

La *Termofisica degli Edifici* è divenuta materia fondamentale per la piena conoscenza del comportamento termico degli edifici stessi e per l'introduzione nuovi criteri costruttivi dettati, quasi sempre, da leggi specificatamente predisposte per il risparmio energetico (vedansi la L. 373/76 prima e L. 10/91 oggi).

Per effetto di queste leggi è stato introdotto il concetto di isolamento termico minimo necessario, per ogni edificio, alla verifica dei limiti di legge (*come si vedrà più approfonditamente con la L. 10/91*) riparando, in un certo modo, allo scompiglio creato dalle tipologie costruttive leggere dianzi evidenziate.

E' triste osservare che ci sono volute due leggi (dal 1976 ad oggi) per costringere i progettisti ad isolare le pareti. Eppure non era difficile osservare, data la relazione iperbolica, $\tau_0 = R \cdot C$, che si poteva compensare la riduzione della capacità termica aumentando la resistenza termica dell'edificio.

Da quanto detto appare chiaro quale deve essere lo scopo dell'impiantistica termotecnica: creare le migliori condizioni di vita (di *comfort*) all'interno degli edifici.

2. IMPIANTI DI RISCALDAMENTO*

Fra gli impianti di climatizzazione parziali sono da ascrivere gli impianti di riscaldamento che controllano solamente la temperatura interna durante il periodo invernale. Questi impianti sono soggetti in Italia a numerose norme e leggi che impongono una metodologia di calcolo ben precisa e non modificabile che i progettisti (sia termotecnici che architetturici) debbono rispettare.

2.1 LA LEGGE 10/91 SUL RISPARMIO ENERGETICO

Le varie crisi energetiche originatesi negli anni settanta hanno sensibilizzato gli Stati più energivori alla limitazione dell'uso dell'energia per usi termici, soprattutto per il riscaldamento ambientale che costituisce da solo circa $\frac{1}{4}$ del consumo totale per l'Italia.

Successivamente alla prima legge 376/76, la L. 10/91 e il suo regolamento di esecuzione DPR 412/93 modificavano in parte quanto la L. 373/76 aveva per circa vent'anni fissato introducendo un limite non più alla potenza massima della caldaia (o del generatore in genere) bensì alla quantità di energia che nell'arco di un anno è possibile consumare per il riscaldamento ambientale.

Essa modificava l'impianto normativo che la precedente L. 373/76 aveva imposto aggiungendo una notevole quantità di calcoli di verifica aggiuntivi che rendevano il calcolo relativo alla L. 10/91 uno dei più onerosi per la progettazione edilizia.

L'aver imposto non più la potenza massima ma l'energia massima utilizzabile (detta *FEN Fabbisogno Limite Normalizzato*) ha in un certo senso reso più semplice⁸ l'impiantistica ma a spese di un maggiore isolamento termico, a parità di condizioni rispetto alla precedente L. 373/76.

La L10/91 si componeva, essenzialmente, di due corpi distinti (ma interdipendenti): il corpo legislativo (dato dal testo della L. 10/91 e dal DPR 412/93) e il corpo normativo (*dato dall'insieme delle norme UNI emesse in attuazione delle disposizioni di legge*).

Per quanto riguarda i criteri di calcolo e di progettazione, il citato D.P.R. 412/93 rimandava ad una serie di norme UNI che ne facevano parte integrante.

⁸ La maggior potenza del generatore è elemento essenziale per ridurre il tempo di accensione dell'impianto. La necessità di maggiore il carico termico per l'avviamento nasce proprio dall'esigenza di ridurre a tempi brevi il tempo necessario al raggiungimento delle condizioni di regime stazionario (cioè 20 °C interni). Maggiore è la potenza del generatore rispetto al minimo pari al carico termico e minore sarà il tempo di salita della temperatura interna degli ambienti. Con la L. 373/76 non era possibile maggiore la potenza del generatore, se non per l'esposizione delle pareti, e ciò rendeva più problematica la riduzione del transitorio di avviamento. Ora la L. 10/91 non impone più il limite della potenza massima del generatore e quindi è possibile avere un generatore che fornisce, almeno nella fase di avviamento, una maggiore potenza rispetto a quella minima del carico termico. Occorre, però, limitare il consumo annuo di energia e quindi si è costretti a limitare principalmente le dispersioni termiche attraverso le pareti e gli infissi.

Successivamente è stato emesso il D.Lgs 192 del 19/08/2005 entrato in vigore l'8/10/2005 (ed integrato dal D.Lgs 311/06) che ha modificato sostanzialmente l'applicazione della L. 10/91.

Le verifiche di picco ed energetica introdotte dalla L. 10/91 sono state eliminate e sostituite da verifiche più semplici ma, si spera, egualmente efficaci ai fini del risparmio energetico quali la verifica delle trasmittanze termiche degli elementi disperdenti (opachi verticali ed orizzontali e dei componenti vetrati) e la verifica del consumo energetico specifico annuo (espresso in $kWh/m^2\text{-anno}$).

Va inoltre detto che a seguito del recepimento della direttiva 2002/91/CE le regioni hanno piena autonomia nella gestione energetica del territorio. Pertanto diverse regioni, soprattutto quelle del Nord Italia e le province autonome di Trento e Bolzano hanno già emesso norme che si discostano da quelle esaminate in sede nazionale. La *clausola di cedevolezza* (art. 17 del D.Lgs 192/05) stabilisce che le norme del decreto 192/05 e dei decreti ministeriali applicativi nelle materie di legislazione concorrente si applicano per le regioni e province autonome che non abbiano ancora provveduto al recepimento della suddetta direttiva 2002/91/CE.

I progettisti dovranno, quindi, informarsi sia sulle norme nazionali che sulle norme regionali di loro pertinenza.

2.2 D.P.R. N. 551/99 E SUE MODIFICHE AL D.P.R. 412/93

Il 21 dicembre 1999 è stato emanato un nuovo DPR 551/99 che apporta alcune modifiche al DPR 412/93 in alcuni articoli e in particolare recepisce la direttiva europea 92/42/CEE concernente i requisiti di rendimento delle nuove caldaie ad acqua calda alimentate con combustibili liquidi e gassosi e anche per uniformarsi alla sentenza della Corte di Giustizia Europea che ha condannato lo Stato Italiano per non avere autorizzato l'installazione di caldaie murali di tipo B1 (*che richiedono la ventilazione dei locali e che pure sono conformi alle direttive europee sulla sicurezza*) ma solo quelle di tipo C che non richiedono (*apparentemente!*) ventilazione dei locali.

Con il nuovo decreto si dice che si possono utilizzare anche le caldaie di tipo B1 con l'obbligo di praticare un'apertura di $0,4\text{ m}^2$ pari ad quadrato di $0,65\text{ m}$ di lato. E' cambiata anche la normativa sul rendimento minimo dei generatori termici (vedi più avanti per altri dettagli).

Viene inoltre fissato l'obbligo per le costruzioni autorizzate dopo il 30 giugno 2000 a contabilizzare il calore in ogni unità abitativa. Le caratteristiche dei coibenti termici sono ora adeguate alla necessità di offrire anche un'adeguata permeabilità al vapore.

Sono poi aggiornate le norme per il *Terzo Responsabile*

2.3 DECRETO 13/12/2003

Approvazione dei modelli tipo per la compilazione della relazione tecnica di cui all'art. 28 della legge 9 gennaio 1991 n. 10, attestante la rispondenza alle prescrizioni in materia di contenimento del consumo energetico degli edifici.

Il decreto approva e riporta i modelli da utilizzare per la compilazione della relazione tecnica da depositare presso gli uffici comunali, nei seguenti casi:

- a) opere relative ad edifici di nuova costruzione o a ristrutturazione di edifici (con riferimento all'intero sistema edificio-impianto termico);
- b) opere relative agli impianti termici di nuova installazione in edifici esistenti e opere relative alla ristrutturazione degli impianti termici;
- c) sostituzione dei generatori di calore.

2.3.1 CRITERI GENERALI DI APPLICAZIONE DELLA L. 10/91

L'applicazione di questa legge richiedeva **due fasi** distinte di calcolo e verifica: nella prima si calcolano alcuni parametri caratteristici relativi alle capacità dispersive degli edifici (in particolare il C_d e il C_g) che si confrontavano con i valori massimi consentiti per tipologia edilizia e per zona climatica, nella seconda si calcolava il FEN dell'edificio e lo si confrontava con il FEN_{limite} indicato dalla norma.

La L. 10/91, come pure la L. 373/76 prima di essa, catalogava gli edifici in base alla loro destinazione d'uso e classifica il territorio italiano in sei zone climatiche. Il parametro utilizzato per la classificazione delle suddette zone è il *Numero dei Gradi-Giorno* (GG). Tale classificazione è ancora valida. Il numero dei gradi-giorno rappresenta un parametro oggettivo perfettamente calcolabile per ciascuna zona climatica e località e definiti come indicato nel prosieguo.

2.4 CRITERI DI CALCOLO PER L'APPLICAZIONE DELLA L. 10/91

Le procedure di calcolo indicate dal DPR 412/93 prevedevano, fino all'entrata in vigore dei decreti attuativi del D.Lgs. 192/05 e del D.Lgs. 311/06, una serie di verifiche che possiamo suddividere in due fasi ben distinte. Quanto indicato per le fasi 1 e 2 vale per l'applicazione della L. 10/91 nei casi in cui ciò sia ancora possibile, ad esempio per una verifica di edifici riferita a tempi di applicazione della citata L. 10/91. Negli altri casi si applica, ormai il D.Lgs. 311/06 e successivi aggiornamenti.

2.4.1 FASE 1: CARICO TERMICO DI PICCO DI RISCALDAMENTO E VERIFICA DI ISOLAMENTO

Per determinare il carico termico di un edificio occorre calcolare tutte le possibili perdite di energia fra edificio e ambiente esterno nell'ipotesi di regime stazionario.

Le procedure di calcolo presuppongono la scelta di una temperatura di progetto interna ed una di progetto esterna, entrambe supposte costanti ai fini del calcolo. Varie norme tecniche sono state emanate per la corretta selezione di questi valori.

Qui basta osservare che sia la L. 373/76 prima e la L. 10/91 con il suo Regolamento di esecuzione DPR 412/93 ora fissano⁹ di norma la temperatura interna di progetto a 20 °C con una tolleranza di $\pm 2^\circ\text{C}$. La temperatura esterna di progetto è selezionata in base alle tabelle predisposte dalle UNI-10344 per ogni Comune d'Italia e pertanto anche questo valore risulta obbligato nella fase di calcolo del carico termico.

La procedura di calcolo del carico termico di riscaldamento è in gran parte ancora¹⁰ codificata nella norma UNI-7357/74 e quindi il calcolo delle dispersioni termiche (viene di norma trascurato l'apporto¹¹ delle sorgenti solari e interne) è effettuato relativamente a:

- *dispersioni attraverso le strutture murarie verso l'ambiente esterno;*
- *dispersioni attraverso le strutture verso ambienti interni non riscaldati o a diversa temperatura rispetto a quella di progetto;*
- *dispersioni attraverso ponti termici delle strutture murarie, porte, finestre,...;*
- *dispersione mediante ventilazione dei locali.*

⁹ Sono ammesse deroghe solo in casi particolari, quali ad esempio ospedali, asili infantili.

¹⁰ In realtà questa norma è seguita solo parzialmente perché superata dal DPR 412/93 e dalle norme UNI-10344, 10346 e 10349. Per la parte relativa al carico termico convenzionale la UNI 7357/74 è seguita come regola generale ad esclusione delle maggiorazioni previste per l'intermittenza.

¹¹ Questi contributi non sono trascurabili per l'applicazione della L. 10/91, come si dirà nel prosieguo, in base alla UNI-10344 per il calcolo del FEN (*fabbisogno Energetico Normalizzato*).

Pertanto il bilancio energetico suddetto si riduce molto divenendo:

$$q_{uscente} = q_{impianto}$$

con :

$$q_{uscente} = q_{trasmissione} + q_{ponti termici} + q_{ventilazione}$$

e in particolare:

$$q_{uscente} = \underbrace{\sum_{i=1}^n K_i S_i \Delta T_i}_{\text{Elementi Disperdenti}} + \underbrace{\sum_j \psi_j l_j \Delta T_j}_{\text{Ponti Termici}} + \underbrace{\sum_k n_k V_k c_{pa} \rho (t_{i,k} - t_e)}_{\text{Ventilazione Ambienti}} \quad [1]$$

ove vale i simboli sono i seguenti:

- K_i *Trasmittanza termica della generica parete, $W/m^2.K$*
- S_i *Superficie disperdente della generica parete, m^2*
- ΔT_i *Differenza di temperatura per la generica parete, $^{\circ}C$*
- ψ_j *fattore lineare per il generico ponte termico, $W/m.K$,*
- l_j *lunghezza di dispersione del generico ponte termico, m ,*
- n_k *Numero di ricambi orari del generico ambiente, $1/h$,*
- V_k *Volume interno del generico ambiente, m^3 ,*
- $t_{i,k}$ *Temperatura interna del generico ambiente, $^{\circ}C$*
- t_e *Temperatura esterna di progetto, $^{\circ}C$*
- c_{pa} *calore specifico a pressione costante dell'aria, $kJ/kg.K$*

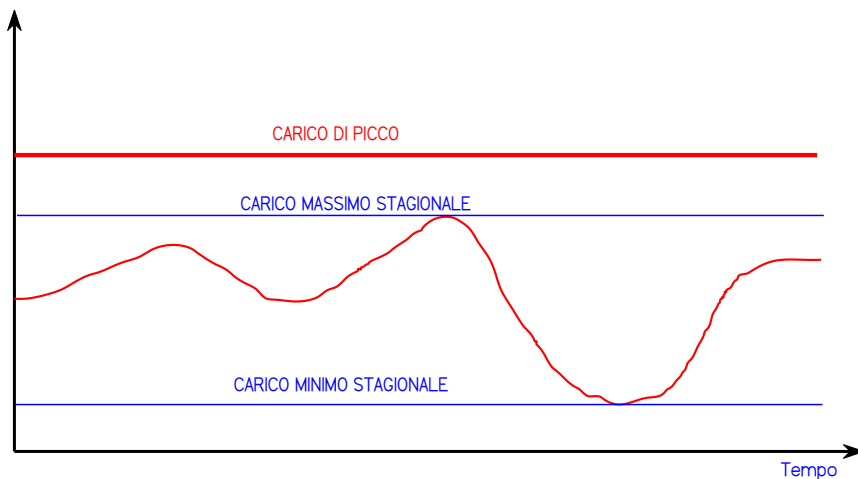


Figura 6: Rapporto fra carico di picco e carico giornaliero

Il calcolo delle singole trasmittanze termiche viene effettuato con i metodi della *Fisica Tecnica* e dipende dai materiali e dalla stratigrafia delle pareti disperdenti (sia esterne che interne) e delle superfici vetrate.

Osservazione

E' importante tenere presente che il carico di picco è un **carico fittizio** che rappresenta le peggiori condizioni possibili di progetto. Nella realtà tali condizioni si verificano di rado pur tuttavia l'impianto deve essere in grado di far fronte alle reali esigenze dell'edificio. Non si assuma supinamente che l'edificio debba sempre essere riscaldato: spesso gli apporti gratuiti dovuti alla

radiazione solare e alle sorgenti di calore interne (trascurati nel carico di picco ma presenti nella realtà) sono in grado di mantenere le condizioni interne ai valori desiderati.

Così, ad esempio, se nella zona climatica B il regolamento impone 8 ore di funzionamento giornaliero ciò vuol dire che nelle restanti ore l'edificio è autosufficiente per effetto degli apporti gratuiti. E' quello che avviene in Sicilia durante le ore del giorno.

Tuttavia allorquando la superficie vetrata è troppo estesa in rapporto alla superficie utile (quella del pavimento) si può avere un serio pericolo di surriscaldamento solare con conseguente necessità di avere anche in inverno la necessità di raffrescamento, come avviene, ad esempio, nel grattacielo Pirelli a Milano per gli ambienti esposti a sud.

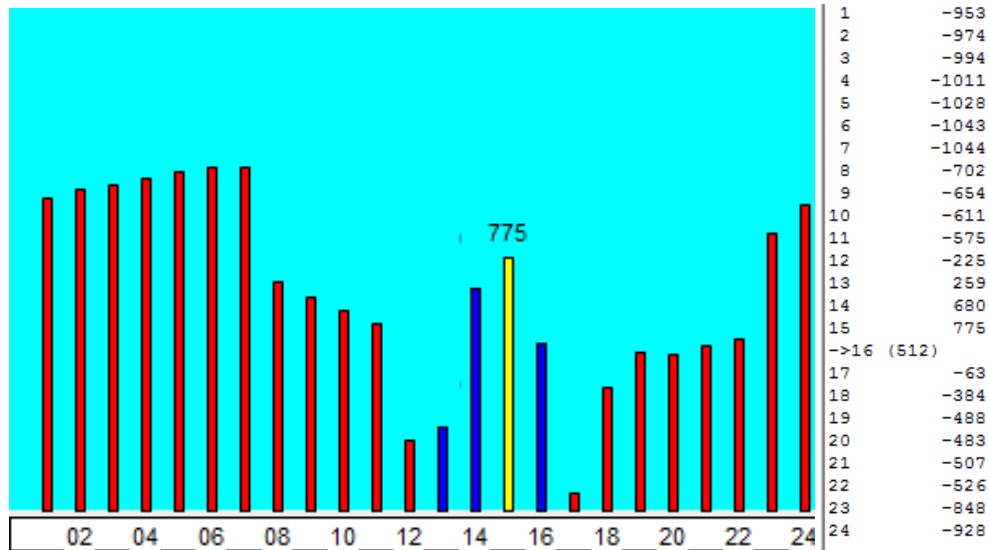


Figura 7: Andamento orario del carico ambiente

E' responsabilità del progettista assicurare che in ogni momento l'impianto di climatizzazione possa soddisfare le richieste degli ambienti (con varia esposizione). In casi particolari è necessario prevedere impianti doppi di riscaldamento e raffrescamento, ad esempio con un sistema con fan coil a quattro tubi (vedi nel prosieguo).

2.4.2 PARAMETRI DI CALCOLO PER IL CARICO TERMICO

Per il calcolo dei coefficienti liminari si possono utilizzare le seguenti espressioni tratte dalle varie norme UNI oggi vigenti, tutte espresse nel S.I.

Superfici verticali ed orizzontali con flusso ascendente:

$$h_e = 2.3 + 10.5\sqrt{v} \quad (W / m^2K)$$

Superfici orizzontali con flusso discendente:

$$h_e = 0.7 \cdot (2.3 + 10.5\sqrt{v}) \quad (W / m^2K)$$

Per le strutture trasparenti:

$$h_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \text{per vetri normali } (\varepsilon=0.837)$$

$$h_e = 3.6 + 4.4 \frac{\varepsilon}{0.837} \quad (W / m^2K) \quad \text{per vetri selettivi}$$

con v velocità del vento in m/s.

Valori usuali, cioè da utilizzare di norma a meno di condizioni esterne che giustifichino il calcolo di nuovi valori di calcolo (ad esempio in zone particolarmente ventose) sono i seguenti:

Componenti opachi:

$$h_e = 25 \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

$$h_i = 7.7 \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Nel caso di elementi disperdenti la cui trasmittanza varia nel tempo, ad esempio finestre con veneziane o altri tipi di elementi oscuranti, occorre considerare il valore della trasmittanza mediata nel tempo considerato.

Per il calcolo dei ponti termici (secondo blocco a destra della [1]) occorre far riferimento ai manuali specializzati che forniscono il valore del coefficiente lineare ψ_k per le varie situazioni possibili: ad esempio per intersezioni di pareti esterne, di pareti esterne ed interne, di pareti verticali e solai, di infissi per porte e finestre.

Il metodo *CSTB*, detto anche *metodo delle trasmittanze lineari*, consiste nel calcolare il valore della trasmittanza lineare ψ_i per le varie situazioni di trasmissione del calore. Si osservi che si ha ponte termico tutte le volte che si hanno in parallelo due elementi di trasmissione del calore aventi forti differenze della resistenza termica.

In pratica, essendo unica la temperatura fra le due facce della parete con ponte termico, l'elemento avente minore resistenza termica (ovvero maggiore conduttanza termica) ha il maggior flusso di calore: si suol dire che funge da *by pass* (o ponte termico) rispetto all'elemento di minore conduttanza.

Ad esempio la presenza di un pilastro o di una trave comporta un ponte termico: basta considerare che una parete normalmente coibentata con isolante termico (*cioè rispondente alla verifica termica delle L. 10/91*) ha trasmittanza variabile fra $0.3 \div 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ mentre il calcestruzzo delle strutture portanti ha trasmittanza variabile fra $2.2 \div 2.6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ne consegue che il flusso termico che attraversa le strutture in cemento armato è $7 \div 10$ volte maggiore di quello che attraversa le normali pareti coibentate e quindi le strutture portanti fungono da *by pass* per il flusso termico che dall'interno va verso l'esterno.

Come conseguenza del maggior flusso si ha anche una minore temperatura superficiale degli elementi più trasmissivi con la conseguenza che più facilmente si raggiunge la temperatura di condensazione del vapore (*a parità di pressione atmosferica totale*) con conseguente formazione di condensa e quindi di muffe superficiali che danneggiano e deteriorano le pareti, specialmente per effetto della formazione di infiorescenze negli intonaci interni ed esterni.

Il flusso totale attraverso una parete è dato dalla relazione:

$$Q_{\text{tot. parete}} = \underbrace{\sum_i U_i A_i \Delta T}_\text{Pareti normali} + \underbrace{\sum_j \Psi_j l_j \Delta T_j}_\text{Ponti termici} \quad [2]$$

ove si ha:

- U trasmittanza termica della parete, ($\text{W/m}^2\text{K}$),
- A area della parete, (m^2),
- ψ trasmittanza lineare, (W/m.K),
- l lunghezza del ponte termico, (m).

Nel caso di pareti d'angolo si ha la relazione:

$$Q_{tot. parete} = \underbrace{\sum_i U_i A_i \Delta T}_{\text{Pareti normali}} + \underbrace{\sum_j \Psi_j l_j \Delta T_j}_{\text{Ponti termici}} = U_1 A_1 \Delta T + U_2 A_2 \Delta T + 2 \Psi l \Delta T$$

Per il calcolo del calore di ventilazione dei singoli ambienti occorre tenere conto della destinazione d'uso dei singoli locali.

Nella Tabella 2 si hanno suggerimenti per il valore di n da utilizzare nella [1]. Il calcolo del carico termico deve essere completato apportando alcune maggiorazioni che hanno lo scopo di adeguare il calcolo fittizio dato dalla [1] alla situazione reale. Le maggiorazioni che si apportano sono di solito per *esposizione* e per *intermittenza*. Le prime (*esposizione*) correggono l'errore introdotto nel calcolo delle dispersioni senza tener conto dell'esposizione della parete disperdente e quindi della temperatura aria-sole che dipende proprio dall'orientamento.

S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
0	2÷5%	5÷10%	10÷15%	15÷20%	15÷20%	10÷15%	5÷10%

Tabella 1: Maggiorazioni per orientamento

In Tabella 1 si hanno le maggiorazioni consigliate per esposizione: gli intervalli indicati lasciano al progettista ampio margine di adeguamento del calcolo fittizio alla realtà.

La seconda maggiorazione che si applica è quella per intermittenza (anche se la L. 10/91 non la prevede più). Vale la pena di osservare che oggi il calcolo manuale è limitato solamente a casi semplici e che l'uso di codici di calcolo opportuni semplifica enormemente la vita anche in considerazione dell'elevato numero di calcoli da fare. L'applicazione della L. 10/91 impone quasi esclusivamente il calcolo automatizzato per le numerosissime verifiche da attuare anche per un semplice appartamento.

Ponti Termici

Il calcolo delle dispersioni termiche di un edificio viene svolto nell'ipotesi di regime stazionario, cioè si assume che le temperature esterne ed interne si mantengano costanti. Questo significa che il flusso termico che si instaura attraverso il muro è costante e che le linee isoterme, che descrivono i vari strati di temperatura nelle varie sezioni del muro, sono perfettamente parallele alle superfici del muro stesso.

Nella realtà questa ipotesi di distribuzione della temperatura per "*piani paralleli*" non risulta mai verificata perché la parete non è mai completamente omogenea e tanto meno di lunghezza infinita. Di conseguenza l'andamento della temperatura all'interno della generica parete non è costante ma varia in relazione al tipo di disomogeneità o di configurazione geometrica.

I ponti termici possono essere generati dalle seguenti circostanze:

- *disomogeneità termica dei materiali che compongono uno strato (ad esempio la composizione di un solaio o la presenza di un pilastro di cemento armato in una parete di materiale diverso);*
- *disomogeneità geometrica (angoli di parete o incroci).*

La presenza di un ponte termico comporta, in generale, una diversa distribuzione delle temperature sia superficiali che interne al diaframma e quindi un aumento della quantità di calore disperso.

Nella pratica generale la presenza di un ponte termico viene affrontata fornendo semplicemente una maggiore quantità di calore all'ambiente, sottovalutando l'aspetto della diversa distribuzione delle temperature sulla parete che può portare a formazione di condensa e muffe, come documentato in Figura 8 e in Figura 9.

In Figura 10 si è messo a confronto l'andamento della temperatura superficiale interna, determinata con il metodo degli elementi finiti, di un angolo non isolato (la zona in azzurro lungo lo spigolo e l'angolo interno rappresenta la zona di pericolo di condensa) con quella di un angolo isolato mediante l'applicazione di appositi pannelli.

DESTINAZIONE D'USO DEI LOCALI	Ricambi d'aria n (vol. amb./ora)	Portate minime (l/s persona)
Edifici residenziali	0,5	7,5
Uffici	1,5÷2,5	10
Edifici commerciali	1÷2	8
Bar	2÷3	15
Ristoranti	1÷2	10
Alberghi	0,5÷1	8
Asili nido e scuole materne	2,5	8
Scuole elementari	2,5	8
Scuole medie inferiori	3,5	8
Scuole medie superiori	5	8
Università	5	8
Ospedali - degenze in genere	2	13
Ospedali - degenze bambini	3	13
Ospedali - reparti diagnostica	6	8
Ospedali - sale operatorie	15÷20	15
Teatri e cinematografi	-	8÷10

Tabella 2: Numero di ricambi orari consigliato

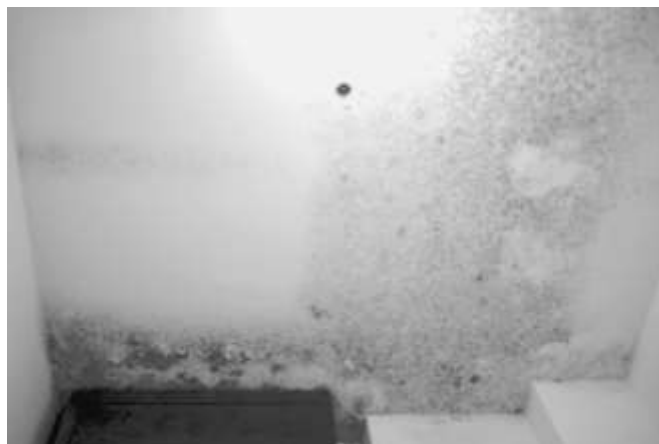


Figura 8: Formazione di condensa e muffa in corrispondenza di una discontinuità di tipo geometrico



Figura 9: Formazione di condensa e muffa in corrispondenza dell'intersezione di due pareti

Fungono quindi da ponte termico le zone dell'edificio dove l'isolamento termico è interrotto.

Per esempio la continuità del muro di tamponamento viene arrestata dai cordoli perimetrali ovvero dalle travi alle quali si vincolano i travetti degli impalcati.

In questi punti si apre una via di fuga preferenziale al passaggio del calore, determinata dalla presenza del calcestruzzo armato che ha una trasmittanza più elevata del muro.

Altri tipici esempi di ponti termici si verificano in corrispondenza dei pilastri d'ambito esterno in facciata, delle soglie, dei davanzali, delle velette in c.a. ecc.

La presenza di un ponte termico può causare quindi diversi effetti negativi oltre quelli già detti, quali:

- a) eterogeneità della temperatura superficiale che determina la formazione di moti convettivi e il deposito disomogeneo di pulviscolo;
- b) formazione di macchie antiestetiche prodotte dalla condensazione di vapore acqueo con progressivo e inevitabile degrado meccanico dei materiali;
- c) formazione di fessurazioni nelle zone di contatto di materiali aventi differente trasmittanza termica e disgregazione superficiale causata dall'insorgere di tensioni.

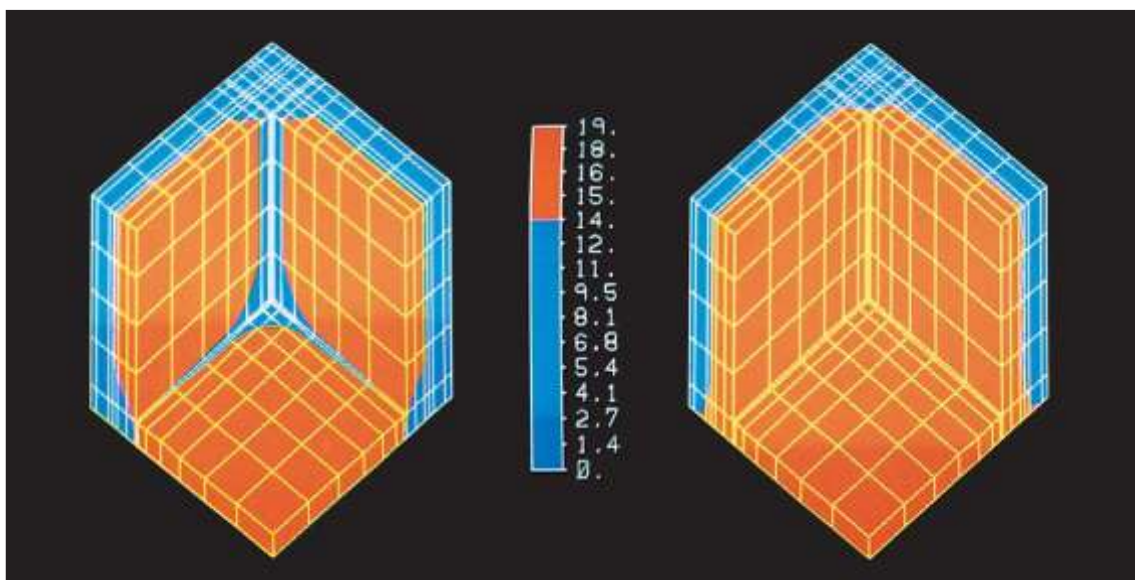


Figura 10: Andamento delle temperature superficiali interne determinato con il metodo degli elementi finiti

Gli accorgimenti per eliminare o almeno ridurre i ponti termici sono diversi ma non sempre di facile realizzazione e dipendono dalla particolarità geometrica della singola situazione.

Per esempio risulta abbastanza semplice isolare termicamente i pilastri perimetrali mediante la fasciatura termica interna o esterna realizzata con la muratura a cassetta (Figura 11). La riduzione del ponte termico in corrispondenza della trave di solaio implica invece la progettazione di dettagli costruttivi assai più complessi: cioè l'impiego di appositi elementi prefabbricati "marcapiano" che, isolati all'interno, consentono di deviare e allungare il percorso del flusso termico e quindi di minimizzarlo (vedi Figura 12).

Metodo di calcolo CSTB dei Ponti Termici

Per il calcolo dei ponti termici si utilizza il metodo CSTB dei coefficienti lineari ψ . I ponti termici sono stati catalogati in alcune tipologie indicate nelle successive figure. Per ciascuna tipologia è dato, nella colonna di destra, la relazione analitica per calcolare ψ . In generale si può dire che i "ponti termici" possono essere generati dalle seguenti circostanze:

- *disomogeneità termica dei materiali che compongono uno strato (ad esempio la composizione di un solaio o la presenza di un pilastro di cemento armato in una parete di materiale diverso).*
- *disomogeneità geometrica (angoli di parete o incroci ecc.).*

La presenza di un ponte termico comporta, in generale, una diversa distribuzione delle temperature sia superficiali che interne al diaframma e quindi un aumento della quantità di calore disperso.

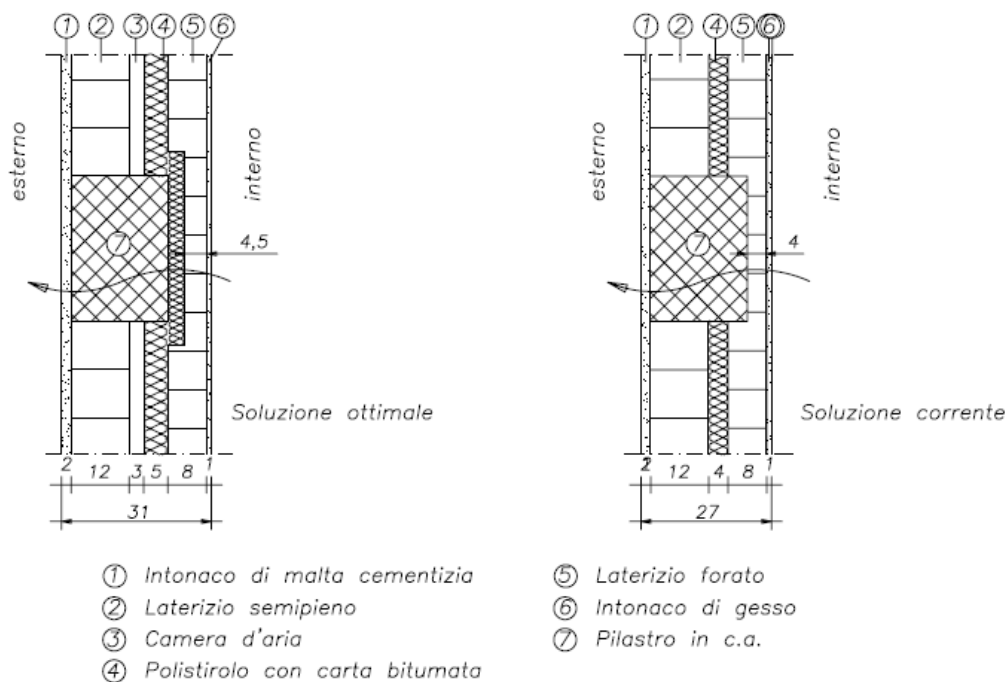


Figura 11: Ponte termico in corrispondenza del pilastro

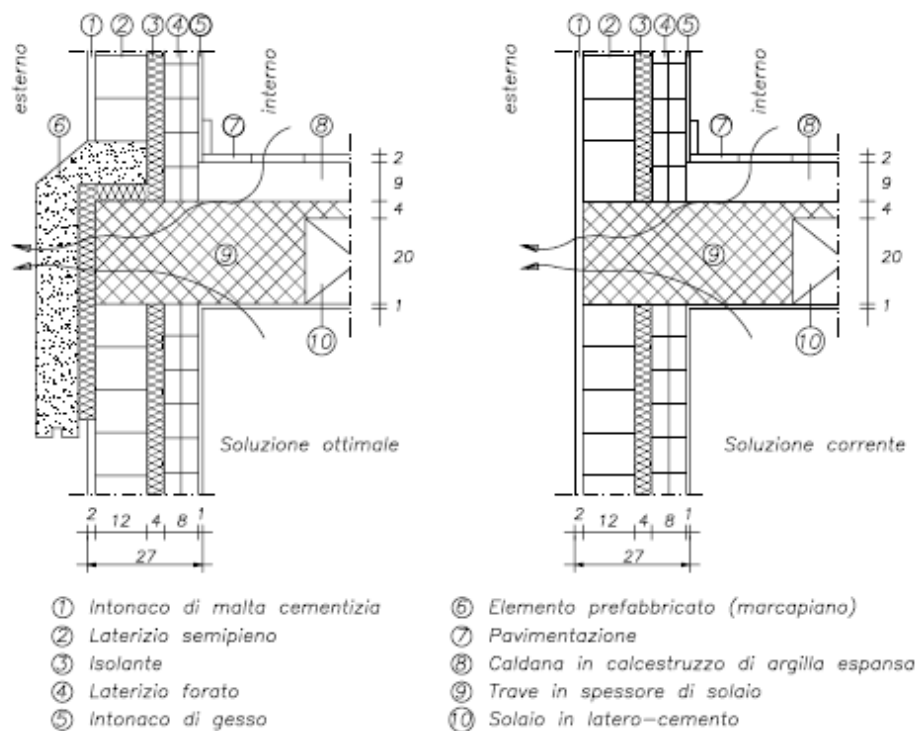


Figura 12: Ponte termico in corrispondenza della trave

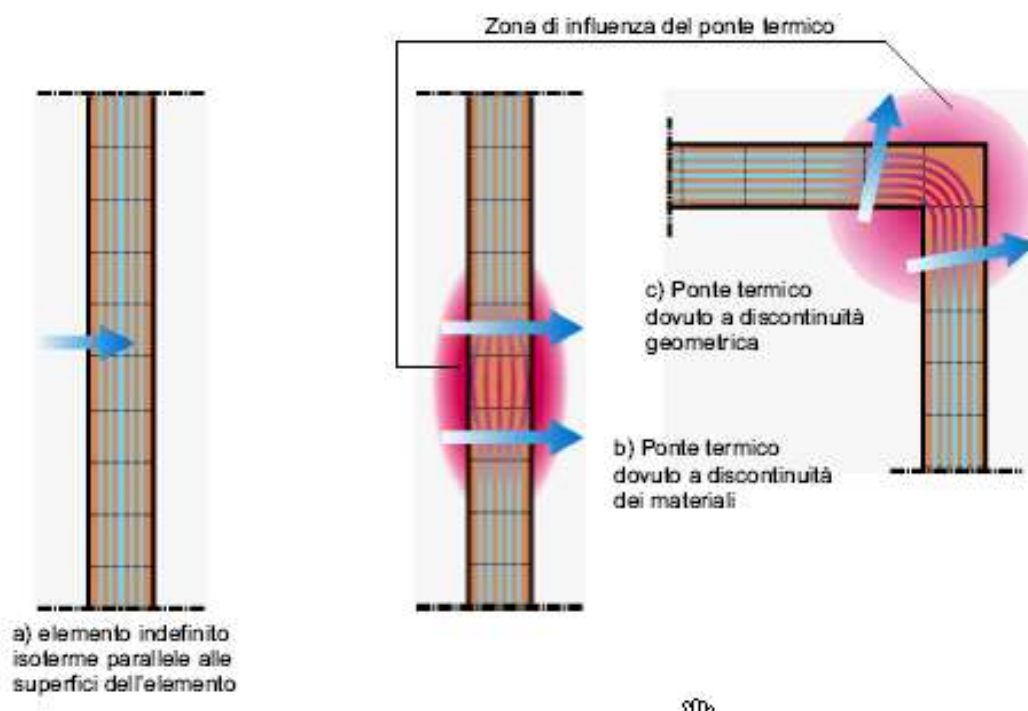


Figura 13: Trasmissione di calore attraverso i ponti termici

Nella pratica generale la presenza di un ponte termico viene affrontata fornendo semplicemente una maggiore quantità di calore all'ambiente, sottovalutando l'aspetto della diversa distribuzione delle temperature, sulla parete, che può portare a formazione di condensa.

Nel prosieguo si forniscono alcune tabelle di calcolo semplificato riprese dalla nota del CSTB sopra accennate. Si osservi, però, che un calcolo più preciso e raffinato dei ponti termici richiede l'applicazione dell'equazione di trasmissione del calore possibilmente mediante codici di calcolo alle differenze finite. Per un tale sviluppo si rimanda alla *Trasmissione del Calore* e ai metodi numerici di calcolo in quella sede sviluppati.

Caratterizzazione delle zone climatiche

Sia la L. 10/91 oggi che la L. 373/76 prima di essa suddividono il territorio italiano in sei zone climatiche caratterizzate dai *Gradi-Giorno* secondo la seguente tabella.

ZONA CLIMATICA	GRADI-GIORNO
A	≤ 600
B	$601 \leq 900$
C	$901 \leq 1400$
D	$1401 \leq 2100$
E	$2101 \leq 3000$
F	> 3000

Tabella 3: Definizione delle zone climatiche

Le norme UNI-10344 e UNI- 10349 fissano, per ciascun comune italiano, i GG (*Gradi-Giorno*), la temperatura esterna (minima e media stagionale) nonché i valori di radiazione solare.

I GG sono definiti dalla relazione:

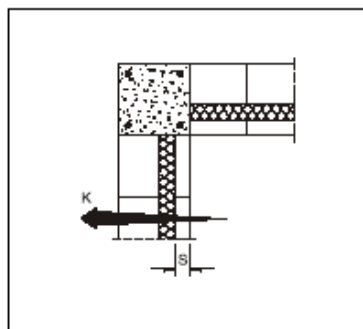
$$GG = \sum_{j=1}^N (t_{ri} - t_{e,j}) \quad \text{per } t_{e,j} \leq t_{ri} \quad [3]$$

ove si ha il seguente simbolismo:

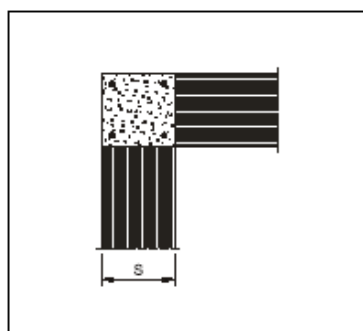
• t_{ri} temperatura interna di riferimento, °C,

- $t_{e,j}$ temperatura media esterna del j .mo giorno, °C,
- N numero complessivo di giorni del periodo considerato.

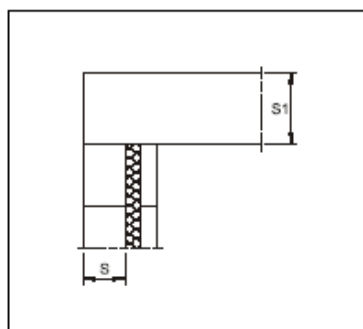
La temperatura interna di riferimento in Italia è posta pari a 19 °C (per tenere conto degli apporti gratuiti), N è posto pari alla durata convenzionale del periodo di riscaldamento (funzione della zona climatica) che corrisponde ai giorni nei quali la temperatura media esterna resta inferiore a 17 °C.



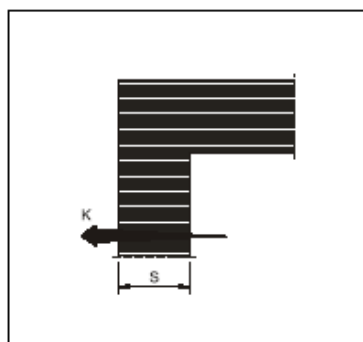
AN 1 : ISOLAMENTO INTERMEDIO PILASTRO D'ANGOLO			
S \ K	0.40 - 0.60	0.65 - 0.85	0.90 - 1.10
5 - 9	0.11	0.15	0.21
10 - 20	0.12	0.18	0.25



AN 2 : ISOLAMENTO RIPARTITO PILASTRO D'ANGOLO	
S	K
20 - 24	0.10
25 - 29	0.12
30 - 34	0.15
35 - 40	0.17

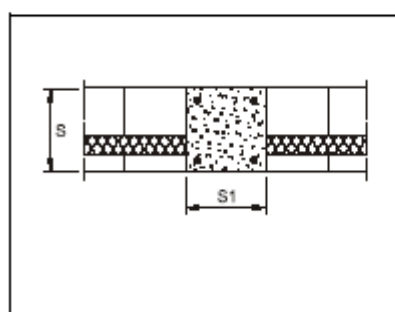


AN 3 : GIUNTO TRA DUE MURI UNO ISOLATO							
S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
10 - 14	0.23	0.26	0.29	0.31	0.33	0.36	0.39
15 - 19	0.22	0.25	0.27	0.30	0.32	0.34	0.37
20 - 25	0.21	0.24	0.26	0.28	0.30	0.33	0.35



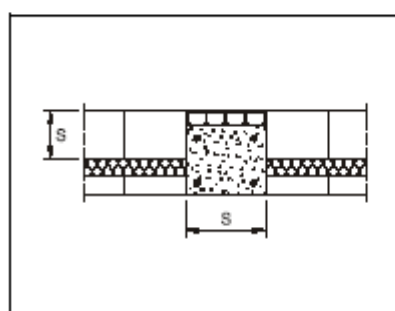
AN 4 : ISOLAMENTO RIPARTITO ANGOLO IN MURO OMOGENEO				
K \ S	20 - 24	25 - 29	30 - 34	35 - 40
0.40 - 0.60	0.02	0.03	0.03	0.04
0.65 - 0.85	0.03	0.04	0.05	0.06
0.90 - 1.10	0.05	0.06	0.07	0.08
1.15 - 1.35	0.06	0.07	0.08	0.09
1.40 - 1.60	0.07	0.08	0.10	0.11
1.65 - 1.85	0.08	0.10	0.11	0.13
1.90 - 2.10	0.09	0.11	0.13	0.15

Figura 14: Calcolo dei ponti termici



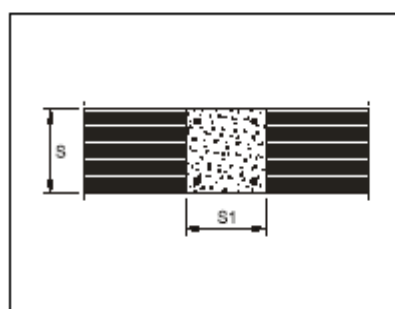
**PI 1 : ISOLAMENTO INTERMEDIO
PILASTRO NUDO**

S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35
10 - 14	0.28	0.31	0.34	0.37	0.41	0.45	0.49	0.53	0.58
15 - 19	0.27	0.30	0.33	0.36	0.39	0.43	0.47	0.51	0.55
20 - 25	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51



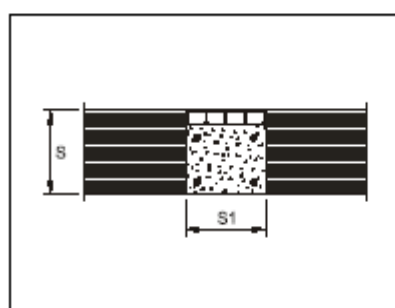
**PI 2 : ISOLAMENTO INTERMEDIO
PILASTRO CON TAVELLA A 1/2 SERIE DI FORI**

S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35
10 - 14	0.25	0.28	0.30	0.33	0.36	0.38	0.41	0.45	0.48
15 - 19	0.24	0.27	0.29	0.32	0.35	0.37	0.40	0.44	0.47
20 - 25	0.23	0.26	0.28	0.31	0.33	0.36	0.39	0.43	0.46



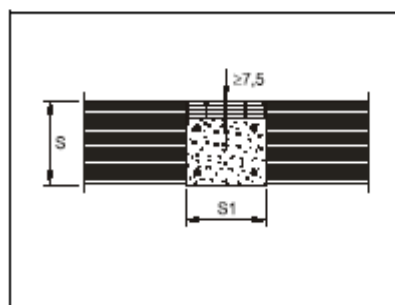
**PI 3 : ISOLAMENTO RIPARTITO
PILASTRO NUDO**

S \ S1	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
20 - 24	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.39	0.43
25 - 29	0.13	0.16	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33	0.36	0.39
30 - 34	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36
35 - 40	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.25	0.27	0.30	0.33



**PI 4 : ISOLAMENTO RIPARTITO
PILASTRO CON TAVELLA A 1/2 SERIE DI FORI**

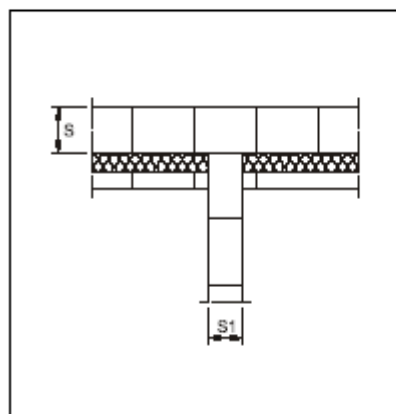
S \ S1	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
20 - 24	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35
25 - 29	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.24	0.27	0.30	0.33
30 - 34	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.25	0.28	0.30
35 - 40	0.09	0.12	0.14	0.16	0.19	0.21	0.23	0.26	0.28



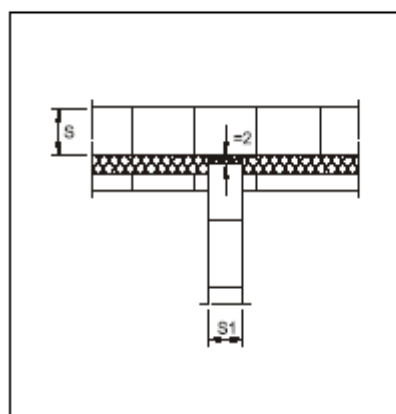
**PI 5 : ISOLAMENTO RIPARTITO
PILASTRO CON TAVELLA A 3/4 SERIE DI FORI (> 7.5 cm)**

S \ S1	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
20 - 29	0.08	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25
30 - 34	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24
35 - 40	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.21	0.23

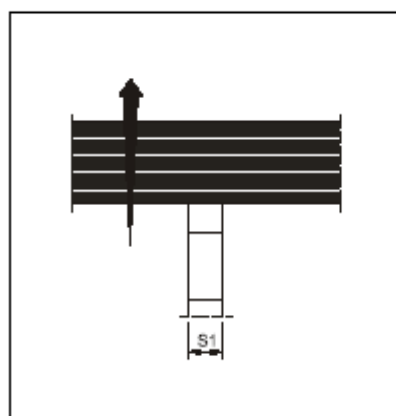
Figura 15: Calcolo dei ponti termici



TR 1 : ISOLAMENTO INTERMEDIO GIUNTO ISOLAMENTO INTERROTTO								
S \ S1	TR	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
10 - 14	0.11	0.16	0.19	0.24	0.28	0.32	0.34	0.37
15 - 19	0.10	0.15	0.18	0.22	0.26	0.29	0.32	0.35
20 - 25	0.09	0.14	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.31

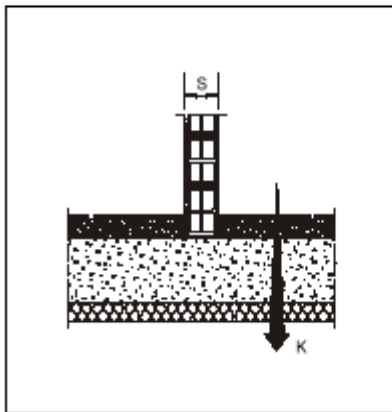


TR 2: ISOLAMENTO INTERMEDIO GIUNTO ISOLAMENTO 2 cm							
S \ S1	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
10 - 14	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14
15 - 19	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12
20 - 25	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10

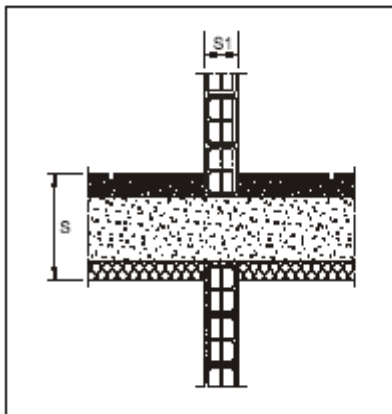


TR 3 : ISOLAMENTO RIPARTITO GIUNTO PARETE ESTERNA - PARETE INTERNA							
K \ S	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
0.40 - 0.60	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
0.65 - 0.85	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08
0.90 - 1.10	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
1.15 - 1.35	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13
1.40 - 1.60	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15
1.65 - 1.85	0.07	0.09	0.11	0.12	0.15	0.16	0.18
1.90 - 2.10	0.08	0.10	0.12	0.15	0.17	0.19	0.21

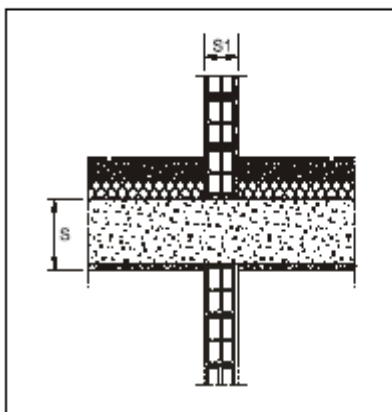
Figura 16: Calcolo dei ponti termici

**PT 1 : ISOLAMENTO CONTINUO DAL BASSO**

K \ S	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
0.40 - 0.60	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
0.65 - 0.85	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08
0.90 - 1.10	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
1.15 - 1.35	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13
1.40 - 1.60	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15
1.65 - 1.85	0.07	0.09	0.11	0.12	0.15	0.16	0.18
1.90 - 2.10	0.08	0.10	0.12	0.15	0.17	0.19	0.21

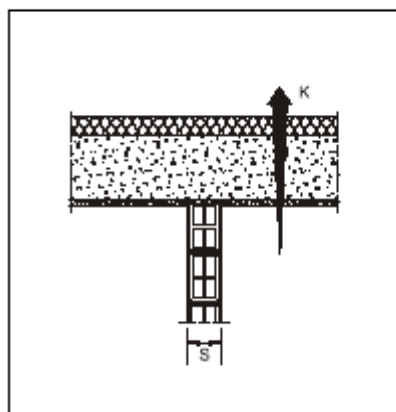
**PT 2 : ISOLAMENTO DAL BASSO INTERROTTO DA TRAMEZZA CON O SENZA TRAMEZZA SOPRSTANTE**

S \ S1	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
15 - 19	0.19	0.23	0.28	0.30	0.34	0.37	0.40
20 - 25	0.17	0.20	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36

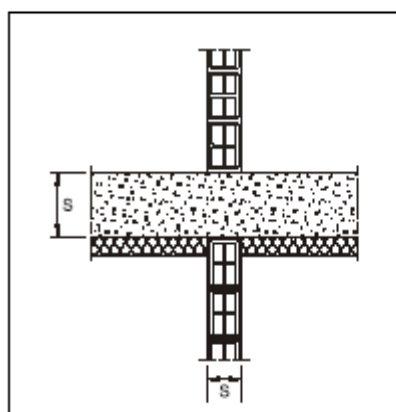
**PT 3 : ISOLAMENTO DALL'ALTO INTERROTTO DA TRAMEZZA CON O SENZA TRAMEZZA SOTTOSTANTE**

S \ S1	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
10 - 14	0.16	0.19	0.24	0.28	0.32	0.34	0.37
15 - 19	0.15	0.18	0.22	0.26	0.29	0.32	0.35
20 - 25	0.14	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.31

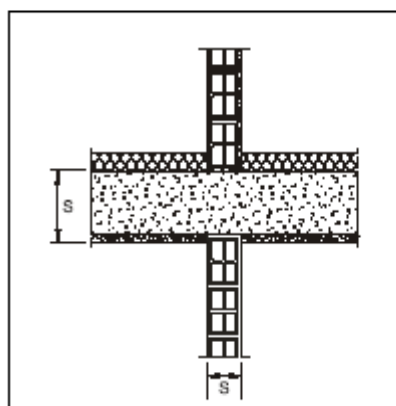
Figura 17: Calcolo dei ponti termici



ST 1 : ISOLAMENTO CONTINUO DALL'ALTO							
K \ S	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
0.40 - 0.60	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
0.65 - 0.85	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08
0.90 - 1.10	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
1.15 - 1.35	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13
1.40 - 1.60	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15
1.65 - 1.85	0.07	0.09	0.11	0.12	0.15	0.16	0.18
1.90 - 2.10	0.08	0.10	0.12	0.15	0.17	0.19	0.21

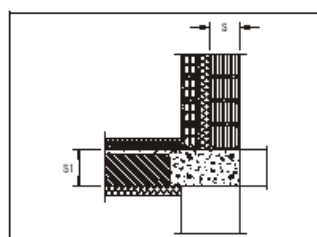


ST 2 : ISOLAMENTO DAL BASSO INTERROTTO DA TRAMEZZA CON O SENZA TRAMEZZA SOPRASTANTE								
S \ S1	TR	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
10 - 14	0.11	0.16	0.19	0.24	0.28	0.32	0.34	0.37
15 - 19	0.10	0.15	0.18	0.22	0.26	0.29	0.32	0.35
20 - 25	0.09	0.14	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.31



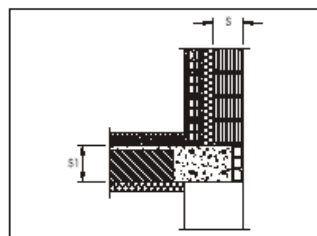
ST 3 : ISOLAMENTO DALL'ALTO INTERROTTO DA TRAMEZZA CON O SENZA TRAMEZZA SOTTOSTANTE							
S \ S1	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
15 - 19	0.19	0.23	0.28	0.30	0.34	0.37	0.40
20 - 25	0.17	0.20	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36

Figura 18: Calcolo dei ponti



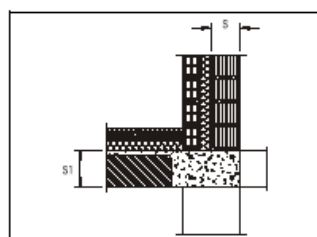
**PV 1 : ISOLAMENTO INTERMEDIO E DAL BASSO
CORDOLO SEMPLICE O BALCONE**

S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
10 - 14	0.21	0.24	0.27	0.29	0.31	0.34	0.37
15 - 19	0.20	0.23	0.25	0.28	0.30	0.32	0.35
20 - 25	0.19	0.22	0.24	0.26	0.28	0.31	0.33



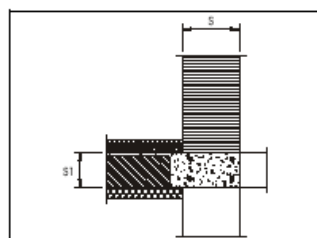
**PV 2 : ISOLAMENTO INTERMEDIO E DAL BASSO
CORDOLO CON TAVELLA A 1/2 SERIE DI FORI**

S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
10 - 14	0.20	0.22	0.25	0.27	0.29	0.31	0.34
15 - 19	0.19	0.21	0.23	0.26	0.28	0.29	0.32
20 - 25	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30



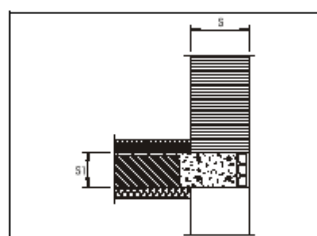
**PV 3 : ISOLAMENTO INTERMEDIO E DALL'ALTO
CORDOLO SEMPLICE O CON TAVELLA O BALCONE**

S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
10 - 14	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.26	0.28
15 - 19	0.12	0.15	0.17	0.20	0.21	0.23	0.25
20 - 25	0.11	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23



**PV 4 : ISOLAMENTO RIPARTITO E DAL BASSO
CORDOLO SEMPLICE O BALCONE**

S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
20 - 24	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.36
25 - 29	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.34
30 - 34	0.17	0.20	0.22	0.25	0.27	0.30	0.32
35 - 40	0.16	0.19	0.21	0.24	0.26	0.28	0.30

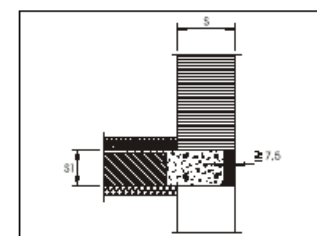


**PV 5 : ISOLAMENTO RIPARTITO E DAL BASSO
CORDOLO CON TAVELLA A 1/2 SERIE DI FORI**

S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
20 - 24	0.16	0.18	0.21	0.23	0.25	0.28	0.30
25 - 29	0.15	0.17	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28
30 - 34	0.14	0.16	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27
35 - 40	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26

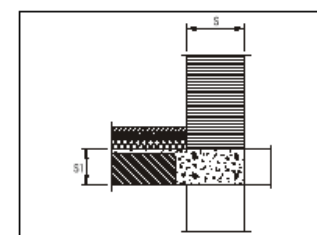
(*) NOTA: TUTTI I SOLAI SONO IN LATERO-CEMENTO e CORDOLO CLS

Figura 19: Calcolo dei ponti termici



**PV 6 : ISOLAMENTO RIPARTITO E DAL BASSO
CORDOLO CON TAVELLA A 3/4 SERIE DI FORI (> 7,5 cm)**

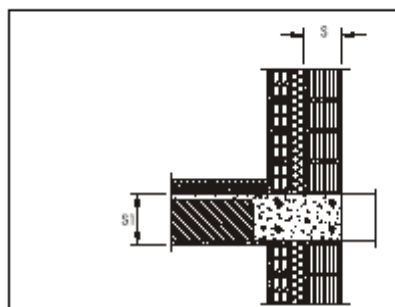
S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
25 - 29	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.22
30 - 34	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.22
35 - 40	0.11	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21



**PV 7 : ISOLAMENTO RIPARTITO E DALL'ALTO
CORDOLO SEMPLICE O CON TAVELLA O BALCONE**

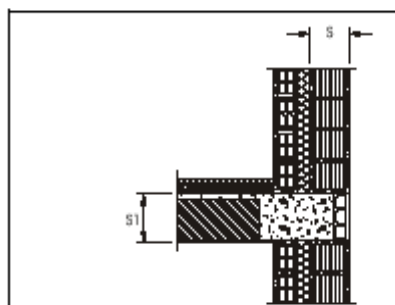
S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
25 - 29	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.22	0.24
30 - 34	0.08	0.11	0.13	0.16	0.17	0.19	0.21
35 - 40	0.07	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19

Figura 20: Ponti Termici



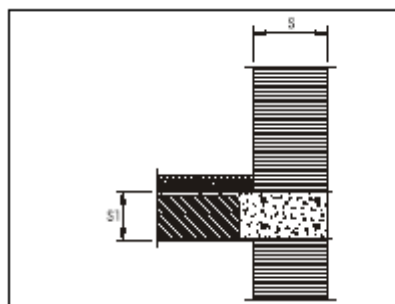
**SI 1 : ISOLAMENTO INTERMEDIO
CORDOLO SEMPLICE O BALCONE**

S \ SI	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
10 - 14	0.28	0.31	0.35	0.37	0.39	0.43	0.46
15 - 19	0.28	0.30	0.32	0.35	0.37	0.40	0.43
20 - 25	0.25	0.28	0.30	0.33	0.36	0.38	0.41



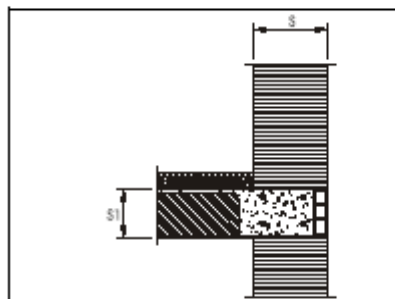
**SI 2 : ISOLAMENTO INTERMEDIO
CORDOLO CON TAVELLA A 1/2 SERIE DI FORI**

S \ SI	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
10 - 14	0.18	0.22	0.25	0.28	0.30	0.32	0.34	0.37	0.40
15 - 19	0.17	0.20	0.23	0.27	0.28	0.30	0.32	0.35	0.37
20 - 25	0.16	0.19	0.22	0.25	0.26	0.28	0.30	0.33	0.35



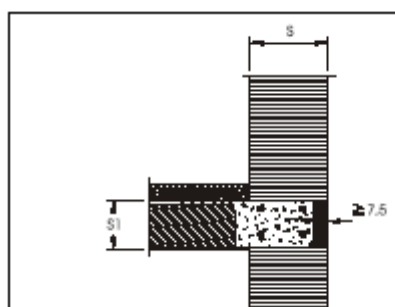
**SI 3 : ISOLAMENTO RIPARTITO
CORDOLO SEMPLICE O BALCONE**

S \ SI	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
20 - 24	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.39	0.43
25 - 29	0.13	0.16	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33	0.36	0.39
30 - 34	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36
35 - 40	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.25	0.27	0.30	0.33



**SI 4 : ISOLAMENTO RIPARTITO
CORDOLO CON TAVELLA A 1/2 SERIE DI FORI**

S \ SI	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
20 - 24	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35
25 - 29	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.25	0.27	0.30	0.33
30 - 34	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.25	0.28	0.30
35 - 40	0.09	0.12	0.14	0.16	0.19	0.21	0.23	0.26	0.28

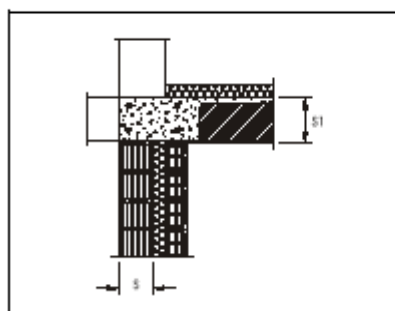


**SI 5 : ISOLAMENTO RIPARTITO
CORDOLO CON TAVELLA A 3/4 SERIE DI FORI (> 7.5 cm)**

S \ SI	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
20 - 29	0.08	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25
30 - 34	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24
35 - 40	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.21	0.23

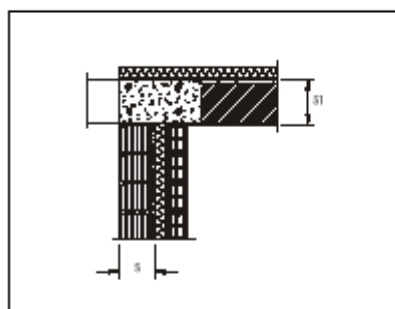
(*) NOTA: TUTTI I SOLAI SONO IN LATERO-CEMENTO e CORDOLO CLS

Figura 21: Ponti Termici



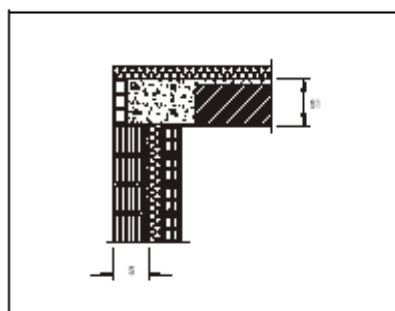
SF 1 : ISOLAMENTO INTERMEDIO E DALL'ALTO IL MURO PROSEGUE - CORDOLO O BALCONE

S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
10 - 14	0.21	0.24	0.27	0.29	0.31	0.34	0.37
15 - 19	0.20	0.23	0.25	0.28	0.30	0.32	0.35
20 - 25	0.19	0.22	0.24	0.26	0.28	0.31	0.33



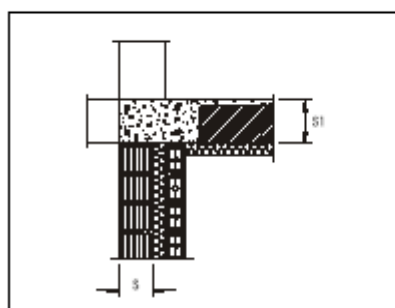
SF 2 : ISOLAMENTO INTERMEDIO E DALL'ALTO - TERRAZZO PIANO - CORDOLO SEMPLICE O BALCONE

S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
10 - 14	0.18	0.21	0.23	0.26	0.29	0.31	0.35
15 - 19	0.17	0.20	0.22	0.25	0.28	0.29	0.33
20 - 25	0.16	0.19	0.21	0.23	0.26	0.28	0.31



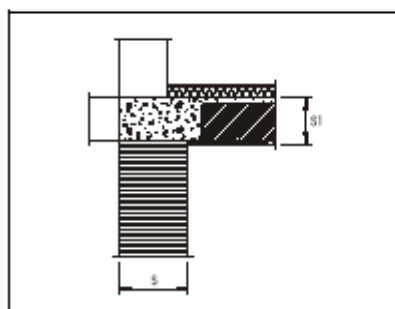
SF 3 : ISOLAMENTO INTERMEDIO E DALL'ALTO - TERRAZZO PIANO CORDOLO CON TAVELLA 1/2 SERIE DI FORI

S \ S1	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
10 - 14	0.18	0.18	0.20	0.23	0.25	0.27	0.30
15 - 19	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24	0.25	0.28
20 - 25	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26



SF 4 : ISOLAMENTO INTERMEDIO E DAL BASSO TERRAZZO O MURO - CORDOLO O BALCONE

S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
10 - 14	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.26	0.28
15 - 19	0.12	0.15	0.17	0.20	0.21	0.23	0.25
20 - 25	0.11	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23



SF 5 : ISOLAMENTO RIPARTITO E DALL'ALTO - IL MURO PROSEGUE CORDOLO O BALCONE

S \ S1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
20 - 24	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.36
25 - 29	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.34
30 - 34	0.17	0.20	0.22	0.25	0.27	0.30	0.32
35 - 40	0.16	0.19	0.21	0.24	0.26	0.28	0.30

(*) NOTA: TUTTI I SOLAI SONO IN LATERO-CEMENTO e CORDOLO CLS

Figura 22: Ponti Termici

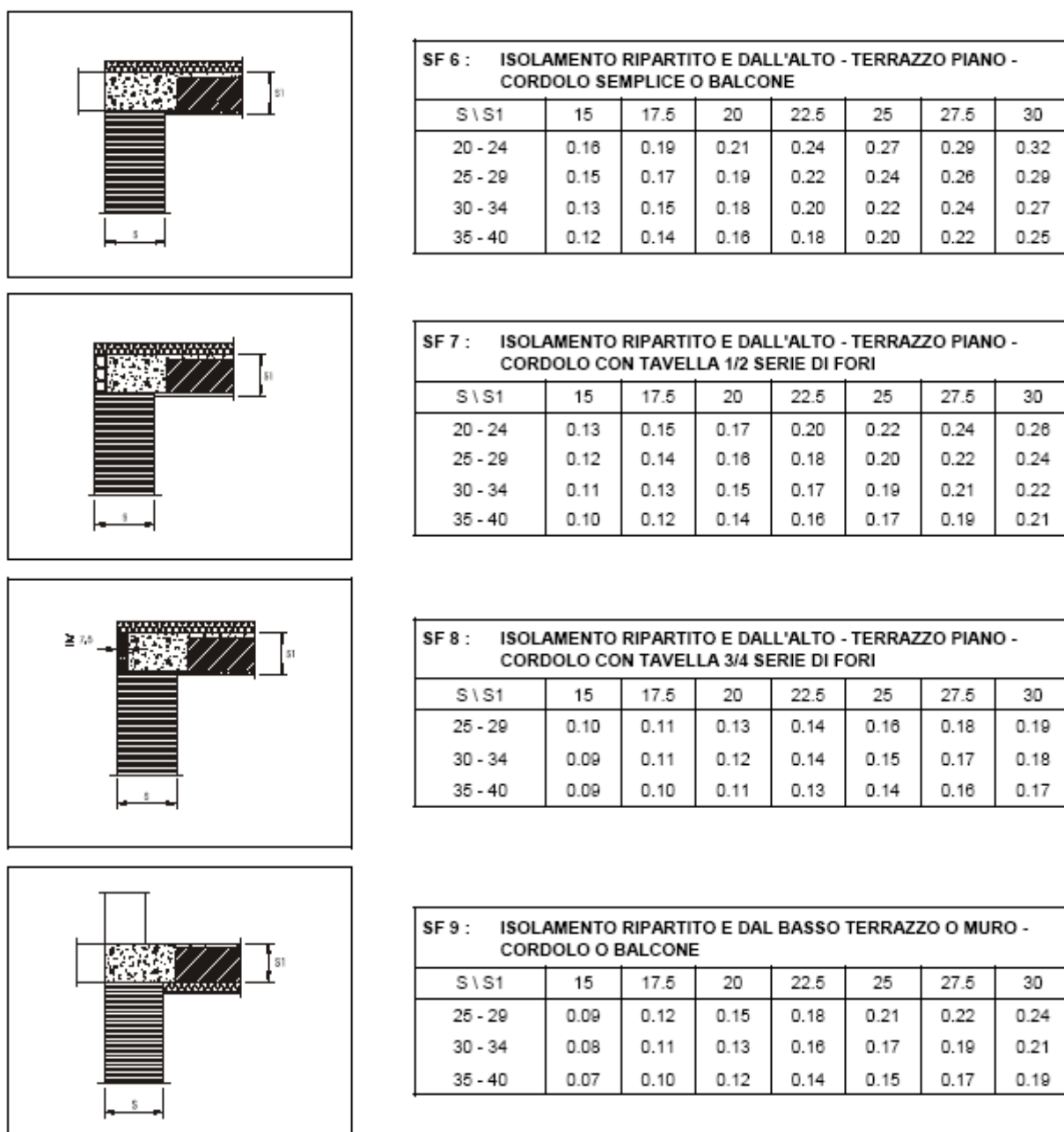


Figura 23: Ponti Termici

Caratterizzazione delle capacità dispersive degli edifici

Le caratteristiche dispersive degli edifici sono sintetizzabili in un *coefficiente di dispersione volumico*¹² C_d dato dall'espressione:

$$C_d = \frac{\Phi_{\text{trasmesso}}}{V \cdot \Delta T_{\text{progetto}}} \quad [4]$$

ove si ha:

• $\Phi_{\text{trasmesso}}$ Flusso per trasmissione attraverso l'involucro, W,

¹² Questa verifica viene cancellata dal D.Lgs 192/05 e sostituita dalla verifica delle trasmittanze delle pareti, solai, pavimenti e superfici vetrate che debbono essere inferiori, a secondo della zona climatica, ai valori limite superiori indicate dalla stessa nuova normativa (vedi più avanti). Si riporta in questa sede la verifica del C_d in attesa dei decreti attuativi del D.Lgs 192/05.

- V Volume lordo riscaldato, m^3 ,
- $\Delta T_{progetto}$ Differenza di temperatura di progetto, $(t_i - t_e)$, $^{\circ}C$.

C_d rappresenta la potenza dispersa per trasmissione attraverso l'involucro, dato dalla somma dei disperdimenti attraverso le pareti e i ponti termici, per unità di volume riscaldato e per differenza di temperatura (fra interno a $20^{\circ}C$ ed esterno a temperatura t_e) di $1^{\circ}C$. Il valore di progetto di C_d deve sempre risultare inferiore ad un $C_{d,max}$ che il DPR 412/93 impone in funzione del sito e del rapporto geometrico S/V fra *superficie disperdente* e *volume riscaldato*, come indicato nella tabella seguente. Si definisce anche un *coefficiente di dispersione per ventilazione* definito dalla relazione:

$$C_v = \frac{n \cdot V \cdot c_a \cdot \rho \cdot \Delta T_p}{V \cdot \Delta T_a} = n \cdot c_a = 0.34 \cdot n \quad (\text{S.I.}) \quad [5]$$

ove n è il numero di ricambi orari. Per le normali abitazioni è $n=0.5$ e pertanto $C_v=0.5 \times 0.34 = 0.17 \text{ (W/m}^3\text{K)}$. Si definisce poi un *coefficiente globale di perdita* la somma di C_d e di C_v , cioè:

$$C_g = C_d + C_v$$

Questo parametro caratterizza tutte le perdite (per dispersione e per ventilazione) di un edificio.

Rapporto S/V (Superficie disperdente/Volume)								
Gradi giorno	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
600	0.49	0.59	0.68	0.78	0.87	0.97	1.06	1.16
700	0.48	0.57	0.67	0.76	0.85	0.95	1.04	1.13
800	0.47	0.56	0.65	0.74	0.83	0.92	1.02	1.11
900	0.46	0.55	0.64	0.73	0.81	0.90	0.99	1.08
1000	0.45	0.54	0.62	0.71	0.80	0.88	0.97	1.05
1100	0.44	0.53	0.61	0.69	0.78	0.86	0.94	1.03
1200	0.44	0.52	0.60	0.68	0.76	0.84	0.92	1.00
1300	0.43	0.51	0.58	0.66	0.74	0.82	0.90	0.98
1400	0.42	0.50	0.57	0.65	0.72	0.80	0.87	0.95
1500	0.41	0.48	0.56	0.63	0.70	0.78	0.85	0.93
1600	0.40	0.47	0.54	0.61	0.69	0.76	0.83	0.90
1700	0.39	0.46	0.53	0.60	0.67	0.74	0.81	0.88
1800	0.37	0.44	0.51	0.58	0.65	0.72	0.78	0.85
1900	0.36	0.43	0.50	0.56	0.63	0.70	0.76	0.83
2000	0.35	0.42	0.48	0.55	0.61	0.67	0.74	0.80
2100	0.34	0.40	0.47	0.53	0.59	0.65	0.72	0.78
2200	0.34	0.40	0.46	0.52	0.59	0.65	0.71	0.77
2300	0.33	0.39	0.46	0.52	0.58	0.64	0.71	0.77
2400	0.33	0.39	0.45	0.51	0.58	0.64	0.70	0.76
2500	0.32	0.38	0.45	0.51	0.57	0.63	0.70	0.76
2600	0.32	0.38	0.44	0.50	0.57	0.63	0.69	0.75
2700	0.31	0.37	0.44	0.50	0.56	0.62	0.68	0.75
2800	0.31	0.37	0.43	0.49	0.56	0.62	0.68	0.74
2900	0.30	0.36	0.43	0.49	0.55	0.61	0.67	0.74
3000	0.30	0.36	0.42	0.48	0.55	0.61	0.67	0.73

Tabella 4: C_d massimi previsti dal DPR 412/93

2.4.3 FASE 2: CARATTERIZZAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

Il DPR 412/93 introduce il concetto che un edificio non possa utilizzare più di una quantità massima di energia per il riscaldamento invernale (o meglio per il periodo convenzionale di riscaldamento). Esso, quindi, definisce un *Fabbisogno Limite Normalizzato*¹³ (FEN) per la climatizzazione invernale dato dalla relazione:

¹³ Il D.Lgs 192/05 ha cancellato la verifica del FEN sostituendola con la verifica del fabbisogno energetico medio annuo (espresso in kWh/m².anno) che deve risultare inferiore ad un valore limite ottenuto in funzione del rapporto S/V e della zona climatica,

$$FEN = \frac{Q_{st}}{GG \cdot V} \quad [6]$$

ove si ha:

- FEN *Fabbisogno Energetico Normalizzato*, $\text{kJ/m}^3\text{GG}$,
- Q_{st} *Fabbisogno energetico convenzionale*, kJ ,
- GG *Gradi Giorno del sito*, $^{\circ}\text{Cgg}$,
- V *Volume lordo riscaldato*, m^3 .

In base alla precedente equazione il *Fabbisogno Energetico Normalizzato* (FEN) è dato dall'energia primaria necessaria per mantenere gli ambienti alla temperatura di 20°C , compresi un opportuno ricambio d'aria e l'energia per le apparecchiature ausiliarie (pompe, bruciatore, ...), per il periodo di riscaldamento fissato per la zona climatica di appartenenza. In pratica la *UNI-10344* indica le modalità di calcolo del FEN che deve tenere conto delle seguenti quantità di energia:

- *Energia primaria immessa nella centrale termica (da gasolio, gas, energia elettrica);*
- *Apporti solari gratuiti forniti all'edificio;*
- *Apporti gratuiti dovuti a tutte le sorgenti interne (persone, cucine, elettrodomestici, illuminazione);*
- *Energia dispersa per trasmissione e ventilazione attraverso le pareti esterne dell'edificio;*
- *Energia dissipata per la distribuzione del calore e per la regolazione termica.*

Il FEN di progetto deve essere sempre inferiore ad una quantità di energia massima, detta FEN_{lim} che il *DPR 412/93* dice di calcolare mediante la relazione:

$$FEN_{lim} = \left[(C_d + 0.34n) - k_u \left(\frac{0.01 \cdot I}{\Delta T_m} + \frac{a}{\Delta T_m} \right) \right] \frac{86.4}{\eta_g} \quad [7]$$

ove vale il seguente simbolismo:

- C_d *coefficiente di dispersione volumica dell'edificio*, $\text{W/m}^3\cdot\text{K}$
- n *numero di ricambi orari*, $1/\text{h}$,
- 0.34 *calore specifico dell'aria per unità di volume*, $\text{Wh/m}^3\cdot\text{K}$
- I *media oraria della radiazione solare*, W/m^2 ,
- 0.01 *valore convenzionale della superficie all'assorbimento solare totale per m³*, (W/m^3) ,
- a *valore degli apporti interni*, (W/m^3) ,
- k_u *fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti*,
- 86.4 *costante di conversione da W/m²·K a kJ/m³·GG*
- η_g *rendimento globale medio stagionale*.

Il valore del *rendimento medio stagionale* è dato dalla relazione:

$$\eta_g = (65 + 3 \log P_n) \% \quad [8]$$

dove P_n è la potenza utile nominale del generatore (o del complesso di generatori) espressa in kW^{14} . Come si vede il FEN_{lim} tiene conto di tutte le quantità di energia in gioco con riferimento ad edificio a comportamento ideale. Qualora risulti $FEN > FEN_{lim}$ occorre rivedere tutto il progetto essendo il FEN funzione di tutti i flussi energetici e del C_d che dipende, a sua volta, anche dal *fattore di forma* S/V e quindi dall'architettura dell'edificio.

vedi nel prosieguo le tabelle. Anche se la verifica del FEN non è più richiesta il suo calcolo risulta necessario al fine del calcolo del nuovo indice di prestazione energetica.

¹⁴ Il D.Lgs 192/05 modifica questa espressione nella seguente: $\eta_g = (75 + 3 \log P)$ rendendo questa verifica molto più difficile che in precedenza. Di fatto questo significa che si dovranno utilizzare generatori ad alto rendimento.

2.4.4 LA VERIFICA ENERGETICA DELLA L. 10/91

L'applicazione della L. 10/91 non è semplice dovendosi far riferimento a numerose norme tecniche¹⁵ emesse a seguito del DPR 412/93. Occorre effettuare numerosi calcoli, spesso ripetitivi e tediosi, secondo un algoritmo procedurale che qui si schematizza:

- Individuare il periodo di riscaldamento per data zona climatica secondo la seguente tabella:

Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F
121 Giorni ¹⁶	121 Giorni	137 Giorni	166 Giorni	180 Giorni	Senza Limite

Tabella 5: Periodo convenzionale di riscaldamento

- Individuazione della destinazione d'uso dell'edificio secondo quanto indicato dal DPR 412/93 e riporto nella seguente tabella 6. Per ciascuna tipologia il DPR 412/93 prevede sia la temperatura interna di progetto (solitamente pari a 20 °C) che il numero di ricambi orari.
- Per data località ove l'edificio risiede valutare i parametri climatici essenziali: temperatura esterna media mensile, radiazione solare globale media mensile sui diversi orientamenti, velocità del vento. L'Italia è suddivisa in zone di vento secondo la mappa di figura 1. A ciascuna zona corrispondono velocità minime, massime e medie e direzioni prevalenti date dalle tabelle CNR-UNI alle quali si rimanda per un maggiore approfondimento.
- Suddivisione dell'edificio in zone termiche aventi ciascuna una determinata temperatura interna, qualora sussistano i presupposti della deroga dai 20 °C imposti dal DPR 412/93.
- Calcolo dei valori mensili dell'energia dispersa per trasmissione e ventilazione, Q_L , attraverso tutti gli elementi disperdenti.
- Calcolo degli apporti gratuiti medi mensili solari interni ed esterni, Q_{Si} e Q_{Se} , di ciascuna zona termica.
- Calcolo degli apporti gratuiti interni medi mensili, Q_i , di ciascuna zona.
- Calcolo del Fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti (solari ed interni), η_u .
- Calcolo del fabbisogno energetico utile medio mensile per ciascuna zona, Q_h .
- Calcolo dei rendimenti che tengono conto dell'intermittenza, dell'attenuazione notturna (se presente) delle caratteristiche di emissione dei corpi scaldanti, η_e , e delle caratteristiche del sistema di regolazione termica, η_c .
- Calcolo del fabbisogno energetico mensile utile per ciascuna zona.
- Calcolo del fabbisogno energetico mensile utile dell'edificio, data dalla somma estesa a tutte le zone del fabbisogno energetico mensile utile di zona, come calcolato precedentemente.
- Calcolo dei rendimenti di distribuzione del fluido vettore, η_d , e del rendimento del generatore di energia primaria, η_p .
- Calcolo del fabbisogno medio mensile di energia primaria, Q .
- Calcolo dell'energia totale annua prodotta dal generatore.
- Calcolo del fabbisogno annuale di energia primaria.

Il calcolo di ciascuna grandezza sopra indicata richiede l'applicazione delle norme UNI 10344 e 10349. Queste risultano complesse e laboriose, come schematizzato nelle figure 2 e 3. Qui si fornisce un breve schema applicativo.

¹⁵ Si tratta di norme cogenti e quindi obbligatorie per la progettazione definita a regola d'arte.

¹⁶ Con il DPR 59/09 il periodo di riscaldamento per la zona A scende a 105 giorni dal 15 dicembre al 31 marzo.

Calcolo dell'energia dispersa per trasmissione e ventilazione

Si applica la seguente relazione:

$$Q_L = (Q_T + Q_G + Q_U) + Q_V + Q_A \quad [9]$$

ove vale il seguente simbolismo:

- Q_T *energia scambiata con l'aria esterna,*
- Q_G *energia scambiata con il terreno,*
- Q_U *energia scambiata con ambienti adiacenti non riscaldati,*
- Q_V *energia per ventilazione,*
- Q_A *energia totale scambiata con zone termiche a diversa temperatura.*

Risultano poi:

$$Q_T = 86400 \cdot N \cdot H_T \cdot \Delta T \quad [10]$$

ove è:

- N *numero giorni nel mese,*
- 86400 *numero di secondi in un giorno,*
- H_T *coefficiente di trasmissione aria interna/aria esterna, (W/K),*
- ΔT *differenza di temperatura fra aria interna ed esterna.*

Il coefficiente H_T è dato dalla relazione:

$$H_T = \sum_{j=1}^d A_j U_j + \sum_{j=1}^p \psi_j l_j \quad [11]$$

ove si ha:

- d *numero degli elementi dispersivi dell'edificio,*
- p *numero dei ponti termici presenti,*
- A *area della superficie di ciascun componente, m², netta o lorda,*
- U *trasmittanza¹⁷ termica di ciascun componente, (W/m²K),*
- ψ *trasmittanza termica lineare del ponte termico, (W/m.K),*
- l *lunghezza del ponte termico.*

Per i ponti termici si veda quanto già detto in precedenza con i coefficienti lineari.

Per l'energia scambiata con il terreno si ha la relazione:

$$Q_G = 86400 \cdot N \cdot H_G \cdot \Delta T_s \quad [12]$$

ove, oltre al simbolismo già indicato, si ha:

- H_G *coefficiente di trasmissione aria esterna - terreno, (W/K), vedi norma UNI-10346,*
- ΔT_s *differenza di temperatura interna-esterna media stagionale, (K).*

Si osservi che l'applicazione della precedente relazione prescinde dalla presenza di acqua nel terreno ed è sempre riferita alle condizioni stazionarie. Per il calore di ventilazione vale la relazione:

$$Q_V = 86400 \cdot N \cdot H_V \cdot \Delta T \quad [13]$$

ove è:

¹⁷ Le norme UNI 10344 e 10349 utilizzano il simbolismo anglosassone per cui la trasmittanza ha il simbolo U anziché K . In effetti le norme sopra citate sono conformi alle norme europee EN e quindi la necessità di un simbolismo comune fra gli stati ha portato alla variazione citata.

- H_V coefficiente di infiltrazione e ventilazione, (W/K),
- ΔT differenza di temperatura tra aria interna ed esterna, (K).

Il coefficiente di ventilazione ed infiltrazione è dato dalla relazione:

$$H_V = c_p \rho \varphi$$

ove è:

- C_p calore specifico a pressione costante dell'aria, 1000 J/(kg.K),
- densità dell'aria, (1.2 kg/m³),
- φ portata volumetrica dell'aria, (m³/h) che può essere posta pari a $\varphi = nV$ con n numeri di ricambi orari e V volume dell'ambiente.

E.1	Edifici adibiti a residenza e assimilabili:
E.1 (1)	abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme;
E.1 (2)	abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili;
E.1 (3)	edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari.
E.2	Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorparabili agli effetti dell'isolamento termico.
E.3	Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossicodipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici.
E.4	Edifici adibiti ad attività ricreative associative o di culto e assimilabili:
E.4 (1)	cinema e teatri, sale di riunioni per congressi;
E.4 (2)	mostre, musei e biblioteche, luoghi di culti;
E.4 (3)	bar, ristoranti, sale da ballo.
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni.
E.6	Edifici adibiti ad attività sportive:
E.6 (1)	piscine, saune e assimilabili;
E.6 (2)	palestre e assimilabili;
E.6 (3)	servizi di supporto alle attività sportive.
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili.
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali, artigianali e assimilabili

Tabella 6: Classificazione degli edifici



Figura 24: Zone del vento in Italia

L'energia scambiata con ambienti a temperatura diversa da quella della zona in elaborazione è data dalla relazione:

$$Q_U = 86400 \cdot N \cdot H_{ie} \cdot \Delta T \quad [14]$$

ove è:

- H_{ie} coefficiente di dispersione termica equivalente fra ambienti non riscaldati, (W/K),
- ΔT differenza di temperatura tra aria interna ed esterna, (K).

Il coefficiente di dispersione termica equivalente fra ambienti non riscaldati, H_{ie} , deve tenere conto dei disperdimenti fra zona riscaldata e zona non riscaldata e da quest'ultima con l'ambiente esterno, secondo quanto indicato dalle UNI 10344 e 10349. Per il calore scambiato con zone a temperatura fissa diversa da quella della zona in elaborazione si applica la relazione:

$$Q_A = 86400 \cdot N \cdot \sum_{j=1}^q (H_a \Delta T_a)_j \quad [15]$$

ove vale il simbolismo:

- q numero delle zone a temperatura fissa che scambiano calore con la zona in esame,

- Ha coefficiente di trasmissione fra zona in esame e ciascuna zona adiacente a temperatura fissa, (W/K),
- ΔT_a differenza di temperatura tra l'ambiente esaminato e quello della j.ma zona adiacente, (K).

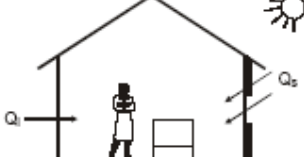
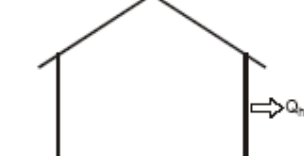
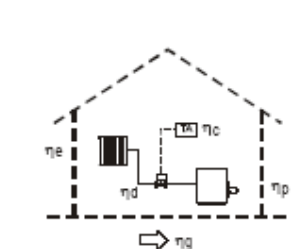
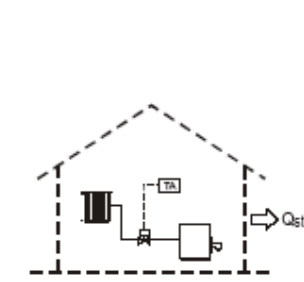
EDIFICIO	Il calcolo sull'edificio senza considerare l'impianto determina Q_h (MJ)
	PERDITE $Q_L = Q_t + Q_u + Q_g + Q_v$ Q_L = TOTALE PERDITE (mensile) Q_t = Perdite per trasmissione verso l'esterno Q_u = Perdite per trasmissione verso locali non riscaldati Q_g = Perdite per trasmissione verso il terreno Q_v = Perdite per ventilazione
	GUADAGNI $Q_G = Q_s + Q_i$ Q_G = TOTALE GUADAGNI (mensili) Q_s = Guadagni per energia solare Q_i = Guadagni per apporti interni
	ENERGIA UTILE Q_h = Somma dei $Q_{h \text{ mensile}}$ Q_h = Fabbisogno di energia utile dell'edificio per riscaldamento invernale $Q_{h \text{ mensile}}$ = $Q_L - \eta \cdot Q_G$ = Fabbisogno di energia utile mensile dell'edificio η = Fattore di utilizzazione dei guadagni
IMPIANTO	Il calcolo sull'impianto determina η_g
	RENDIMENTO $\eta_g = \eta_e \cdot \eta_c \cdot \eta_d \cdot \eta_p$ η_g = Rendimento globale medio stagionale η_e = Rendimento di emissione * η_c = Rendimento di regolazione * η_d = Rendimento di distribuzione * η_p = Rendimento di produzione medio stagionale ** * Dipendono dal tipo impianto e dagli apparecchi utilizzati ** Dipende dalle caratteristiche del generatore ed i modo considerevole dal confronto tra potenza del generatore e Energia $Q_{h \text{ mensile}}$
SISTEMA EDIFICIO + IMPIANTO	Il calcolo sul sistema edificio + impianto determina Q_{st}
	ENERGIA PRIMARIA $Q_{st} = \frac{Q_{hvs}}{\eta_g}$ (MJ) Q_{st} = Fabbisogno di energia primaria del sistema edificio + impianto per riscaldamento invernale Q_{hvs} = Fabbisogno di energia utile che tiene conto del regime di funzionamento (continuo, attenuato, intermittente) $FEN = \frac{Q_{st}}{GG \cdot V}$ V = Volume GG = Gradi Giorno FEN = Fabbisogno di Energia Normalizzato

Figura 25: Schema semplificato proposto dalle UNI-10344 e 10348

Calcolo degli apporti gratuiti

Gli apporti gratuiti sono quei contributi d'energia che non derivano dall'impianto di riscaldamento e che provengono da sorgenti interne (persone, illuminazione, cucine, macchinari, ...) e dall'esterno (radiazione solare, riscaldamento passivo, ...). Non è facile calcolare questi apporti

poiché essi dipendono anche dal profilo d'uso degli ambienti (accensione dell'illuminazione, chiusura/apertura delle serrande, accensione di macchinari, presenza di persone all'interno degli ambienti in determinati orari, ...). Si cerca, quindi, di effettuare un calcolo fittizio supponendo un profilo d'uso standard per data tipologia di edifici (abitazioni, scuole, ospedali, ...).

Il valore degli apporti gratuiti delle sorgenti interne è dato da:

$$Q_I = \sum_{j=1}^s Q_{I,j} \quad [16]$$

ove è:

- s numero delle sorgenti interne,
- $Q_{I,j}$ apporto energetico gratuito di ciascuna sorgente, (J/mese).

Il calcolo degli apporti gratuiti può essere fatto sia in modo analitico (conoscendo l'esatto profilo d'uso degli ambienti) che forfettario mediante la seguente Tabella 7 desunta dalla norma UNI-10344¹⁸.

Utilizzazione	Apporti gratuiti globali	Unità di misura
Appartamento di superficie lorda in pianta < 200 m ²	6.25 – 0.02 S	W/m ²
Appartamento di superficie lorda in pianta > 200 m ²	450	W
Edifici adibiti ad uffici	6	W/m ²
Edifici adibiti ad attività commerciali	8	W/m ²

Tabella 7: Valori medi degli apporti gratuiti

Il valore degli apporti gratuiti per energia solare dipende dal sito (latitudine e radiazione media mensile) e dalle caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi sia opachi che trasparenti.

In particolare si utilizza la relazione:

$$Q_S = N \cdot \sum_{j=1}^c q_{s,j} \left(\sum_{i=1}^v A_{e,i} \right) \quad [17]$$

con il simbolismo:

- N numeri di giorni del mese,
- e numero di esposizioni,
- v numero di superfici per esposizione,
- q_s radiazione globale giornaliera media mensile sulla parete avente esposizione j ,
- $A_{e,i}$ area equivalente della superficie avente esposizione i .

Il valore medio mensile della radiazione globale giornaliera per le diverse esposizioni è data dalla norma UNI-10349. Gli apporti gratuiti solari si suddividono in due categorie:

- Q_{se} apporti dovuti alle radiazioni solari sulle superfici opache,
- Q_{si} apporti dovuti alle radiazioni solari sulle superfici trasparenti.

Per gli apporti delle pareti opache vale la relazione, per la generica parete:

$$A_{e,i} = F_{s,i} F_{e,r,i} A_i \alpha_i U_i / h_e \quad [18]$$

ove si ha il simbolismo:

- α fattore di assorbimento della radiazione solare,
- h_e coefficiente superficiale di scambio termico esterno, (W/m²K),
- U trasmittanza termica della parete, (W/m²K),

¹⁸ Gli apporti gratuiti sono valutati diversamente dal UNI TS11300.

- F_{er} *fattore d'angolatura della radiazione solare sulla parete i-esima,*
- F_s *fattore di schermatura della parete i-esima.*

Per i fattori di assorbimento si possono considerare i seguenti valori:

Colore chiaro	$\alpha = 0.3$
Colore medio	$\alpha = 0.5$
Colore scuro	$\alpha = 0.8$

Tabella 8: Fattori di correzione per i colori

Per i fattori di incidenza della radiazioni solari si possono considerare i seguenti valori:

Superfici orizzontali	$F_{er} = 0.8$
Superfici inclinate	$F_{er} = 0.9$
Superfici verticali	$F_{er} = 1.0$

Tabella 9: Fattori di utilizzazione

Il fattore di schermatura, F_s , va calcolato in funzione dell'orografia del terreno e della disposizione degli edifici vicini. La UNI-10349 fornisce anche una metodologia di calcolo che tiene conto anche della eventuale presenza di componenti passivi (muro *Trombe*, serra addossata, collettori solari ad aria, ...). Per gli apporti gratuiti dovuti alle superfici trasparenti si utilizza la relazione, per la generica vetrata:

$$A_{e,i} = F_{s,i} F_{c,i} F_{f,i} g_i A_i \quad [19]$$

con il simbolismo:

- F_s *fattore ombre portate da ostruzioni esterne,*
- F_c *fattore di riduzione per schermi interni e/o esterni,*
- F_f *fattore di riduzione per l'area del telaio del componente vetrato,*
- g *fattore di trasmissione solare,*
- A *area dell'apertura vetrata, (m²).*

La UNI-10344 fornisce i valori dei fattori di schermatura F_s ed F_c . Il fattore di riduzione del telaio può essere assunto pari a 0.87 mentre il fattore di trasmissione solare, g , può essere desunto dalla seguente Tabella 10. Per il calcolo del *fattore di utilizzazione* degli apporti gratuiti, η_u , occorre valutare gli effettivi contributi degli apporti solari e di quelli interni. Indichiamo con γ il rapporto fra gli apporti solari più quelli interni ($Q_s + Q_i$) e l'energia globalmente dispersa (trasmissione e ventilazione) ridotta del contributo degli apporti solari esterni, Q_{se} .

Tipo di Vetro	Fattore di trasmissione
Vetro singolo	0.82
Vetro singolo selettivo	0.66
Vetro doppio normale	0.70
Vetro con rivestimento selettivo pirolitico	0.64
Doppio vetro con rivestimento selettivo catodico	0.62
Triplo vetro normale	0.60
Triplo vetro con rivestimento selettivo pirolitico	0.55
Triplo vetro con rivestimento selettivo catodico	0.53

Tabella 10: Fattori di trasmissione per le tipologie di vetri

In pratica indichiamo con:

$$\gamma = \frac{Q_{Si} + Q_i}{Q_L - Q_{Se}}$$

Allora risulta, per $\gamma=1$:

$$\eta_u = \frac{\tau}{\tau + 1}$$

e per $\gamma \neq 1$ si ha:

$$\eta_u = \frac{1 - \gamma^\tau}{1 - \gamma^{\tau+1}}$$

ove τ è legato alla costante di tempo t_c dell'edificio:

$$t_c = \frac{C}{H_K \cdot 3600}$$

dalla relazione:

$$\tau = 1 + \frac{t_c}{16}$$

La costante di tempo t_c è legata alla capacità C che a sua volta è legata alla *massa efficace* M che dipende dal tipo di materiali delle pareti e dei pavimenti secondo la seguente Tabella 11. Infine H_K è definito dalla relazione:

$$H_K = \frac{Q_L}{86400 \cdot N \cdot \Delta T}$$

e precisamente è:

$$C = M \cdot c \cdot \left(A_d + 0.06 \frac{n_p - 1}{n_p} \right)$$

con :

- c calore specifico di riferimento pari a 1000 J/kg.K;
- A_d superficie esterna dell'involucro, (m²);
- n_p numero dei piani.

Calcolo dell'energia utile

L'energia utile, cioè il fabbisogno mensile per il riscaldamento dell'edificio è data dalla relazione:

$$Q_h = (Q_L - Q_{Si}) - \eta_{ig} (Q_I + Q_{Si}) \quad [20]$$

ove η_{ig} è il *fattore di utilizzazione* degli apporti gratuiti che tiene conto dell'inerzia dell'edificio e del rapporto fra i guadagni e le perdite specifiche del mese. In pratica non tutta l'energia gratuita viene utilizzata per effetto di dispersioni e/o proprietà termofisiche dell'edificio.

Per il periodo di riscaldamento si può fare riferimento a quello convenzionale o reale, definito in base al calcolo dei GG (gradi giorno). Il fabbisogno stagionale è la somma dei fabbisogni mensili $\sum Q_h$.

Intermittenza dell'impianto di riscaldamento

L'accensione o lo spegnimento degli impianti di riscaldamento comporta sempre del tempo e pertanto la temperatura media degli ambienti, calcolata nel periodo di accensione, risulta inferiore a quella di progetto (supposta, invece, costante). Il valore Q_{hvs} è dato dalla relazione:

$$Q_{hvs} = k \left[F_{il} (Q_L - Q_{Se}) - \eta_u F_{ig} (Q_I + Q_{Si}) \right] \quad [21]$$

ove k è un fattore che dipende dal tipo di funzionamento dell'impianto (attenuazione notturna, spegnimento, ..) e non può mai essere minore di 1, mentre F_{il} e F_{ig} sono parametri che

dipendono dalla costante di tempo dell'edificio, dal tipo di terminali utilizzati (radiatori, convettori, ...) e forniti dalla *UNI 10344*.

Caratteristiche costruttive dei componenti edilizi				Numero dei piani		
Intonaci	Isolamento	Pareti esterne	Pavimenti	np=1	np=2	np≥3
				Valori di M [kg/m ²]		
gesso	interno	qualsiasi	tessile	75	75	85
gesso	interno	qualsiasi	legno	85	95	105
gesso	interno	qualsiasi	piastrelle	95	105	115
gesso	assente/esterno	legg./blocchi	tessile	95	95	95
gesso	assente/esterno	medie/pesanti	tessile	105	95	95
gesso	assente/esterno	legg./blocchi	legno	115	115	115
gesso	assente/esterno	medie/pesanti	legno	115	125	125
gesso	assente/esterno	legg./blocchi	piastrelle	115	125	135
gesso	assente/esterno	medie/pesanti	piastrelle	125	135	135
malta	interno	qualsiasi	tessile	105	105	105
malta	interno	qualsiasi	legno	115	125	135
malta	interno	qualsiasi	piastrelle	125	135	135
malta	assente/esterno	legg./blocchi	tessile	125	125	115
malta	assente/esterno	medie	tessile	135	135	125
malta	assente/esterno	pesanti	tessile	145	135	125
malta	assente/esterno	pesanti	tessile	145	135	125
malta	assente/esterno	legg./blocchi	legno	145	145	145
malta	assente/esterno	medie	legno	165	155	155
malta	assente/esterno	pesanti	legno	165	165	165
malta	assente/esterno	legg./blocchi	piastrelle	145	155	155
malta	assente/esterno	medie	piastrelle	155	165	165
malta	assente/esterno	pesanti	piastrelle	165	165	165

Tabella 11: Masse efficaci per il calcolo della costante di tempo dell'edificio

Il fabbisogno di energia, Q_{hvs} , è inferiore a Q_h (per ciascun mese e per ciascuna zona). L'entità della riduzione dipende:

- dall'inerzia termica dell'edificio data da $C = \sum_i^P m_i c_{pi}$ ove m_i è la massa di ogni parete, c_{pi} è il calore specifico della singola parete e P è il numero di pareti dell'edificio.
- dal periodo dell'anno e quindi dal mese considerato,
- dalla durata del periodo di spegnimento o di attenuazione notturna e dalla temperatura media interna degli ambienti.

Fabbisogno utile mensile

Noto il fabbisogno mensile Q_{hvs} si può calcolare il fabbisogno utile mensile in condizioni reali di funzionamento, Q_{hr} , dato dalla relazione:

$$Q_{hr} = \frac{Q_{hvs}}{\eta_e \eta_c} \quad [22]$$

ove i rendimenti di emissione dei terminali, η_e , e di regolazione, η_c , possono essere calcolati in funzione della tipologia di impianto selezionato in conformità a quanto prescritto dalla *UNI 10348*. In particolare si hanno le seguenti tabelle:

<i>Terminale</i>	<i>Rendimento di emissione, η_e</i>
<i>Termoconvettori</i>	<i>0,99</i>
<i>Ventilconvettori</i>	<i>0,98</i>
<i>Bocchette aria</i>	<i>0,97</i>
<i>Radiatori</i>	<i>0,96</i>
<i>Pannelli Radianti</i>	<i>0,96</i>

Tabella 12: Rendimenti di emissione

<i>Sistema</i>	<i>Rendimento di regolazione</i>	
	<i>Radiatori, Convettori</i>	<i>Pannelli radianti</i>
<i>Singolo Ambiente</i>	<i>0,94</i>	<i>0,90</i>
<i>Climatizzazione per singolo ambiente</i>	<i>0,98</i>	<i>0,96</i>
<i>Zona</i>	<i>0,97</i>	<i>0,94</i>
<i>Climatizzazione per zona</i>	<i>0,98</i>	<i>0,96</i>

Tabella 13: Rendimenti di regolazione

Noti i rendimenti sopra indicati si può calcolare il *rendimento globale medio stagionale* dell'impianto, η_g , che è il rapporto fra l'energia necessaria per il riscaldamento dell'edificio e l'energia fornita dal combustibile. Esso è dato dalla relazione¹⁹:

$$\eta_g = \eta_e \cdot \eta_c \cdot \eta_d \cdot \eta_p$$

2.4.5 RENDIMENTI DI IMPIANTO

Per sua definizione, l'energia utile Q_h , è il fabbisogno teorico stagionale per il riscaldamento dell'edificio nell'ipotesi di temperatura interna costante e pari al valore di progetto di 20 °C. In realtà occorre considerare il binomio *edificio-impianto* e di conseguenza se il generatore di calore produce una data quantità di energia non tutta arriva agli ambienti per il loro riscaldamento. Il fluido termovettore (*acqua o aria*) disperde calore durante il trasporto nelle tubazioni o nei canali d'aria, anche se ben coibentati termicamente. Inoltre non tutta l'energia chimica del combustibile viene trasformata in energia resa al fluido termovettore perché occorre sempre considerare il rendimento di combustione e quindi la frazione di energia dispersa con i fumi. Si aggiunga, inoltre, che i terminali di erogazione dell'energia negli ambienti (radiatori, termoconvettori, piastre radianti, ...) sono anch'essi soggetti ad un rendimento (sempre minore di 1) che aggrava ancora le condizioni di distribuzione dell'energia. Lo stesso si può dire per la regolazione della temperatura interna: solitamente si ha un pendolare attorno al valore centrale di riferimento, 20°C, che comporta perdite energetiche. Il risultato di quanto detto è che bisogna sempre fornire all'impianto una quantità di energia utile, Q_{hr} , superiore al fabbisogno teorico Q_h e questa quantità può essere calcolata una volta noti i rendimenti di ciascun passaggio.

- *Il rendimento di emissione, η_e , è definito come il rapporto fra il calore di riscaldamento richiesto con uno scambiatore di riferimento in grado di mantenere una temperatura ambiente uniforme nei vari ambienti ed il calore realmente fornito nelle stesse condizioni operative (cioè di temperature interna ed esterna) dal corpo scaldante utilizzato. Per le varie tipologie la UNI-10348 fornisce i valori di rendimento da utilizzare nel calcolo, vedi Figura 26.*

¹⁹ Si osservi che il rendimento globale è dato dal prodotto di quattro rendimenti, ciascuno dei quali è minore di zero. Il prodotto, pertanto, è minore del più piccolo dei fattori! Questo non deve essere mai dimenticato in sede progettuale perché quasi sempre la verifica della L. 10/91 si blocca in questo punto. Basti fare un esempio molto semplice. Se i quattro rendimenti valgono ciascuno 0.9 allora si ha $\eta_g = 0.9 \times 0.9 \times 0.9 \times 0.9 = 0.6561$. Ne segue che per aumentare il rendimento globale occorre massimizzare sempre tutti i rendimenti parziali poiché il minore di essi penalizza tutto il prodotto.

Si osserva che la distribuzione del calore negli ambienti non è mai uniforme a causa dei vari sistemi di cessione dell'energia. Ad esempio si considerino i moti convettivi generati da un radiatore in un ambiente, come illustrato in Figura 27. Questa disuniformità caratterizza il rendimento di emissione. Per migliorare il rendimento di emissione è bene isolare la parete su cui insiste il corpo scaldante, vedi Figura 29, oppure (specialmente per ambienti di altezza maggiore dell'usuale) applicare i destratificatori, vedi Figura 30, che rimescolano l'aria interna migliorando l'uniformità di distribuzione della temperatura interna.

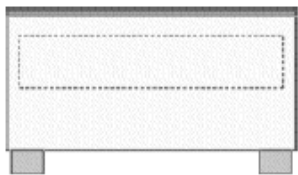
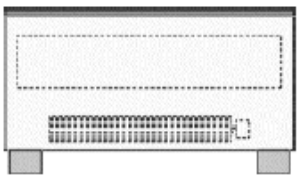
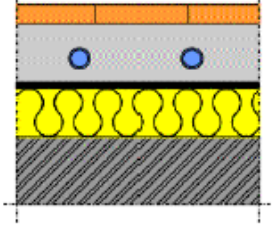
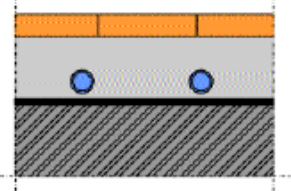
VALORI DEL RENDIMENTO DI EMISSIONE η_e			
Termoconvettori 	$\eta_e = 0,99$	Ventilconvettori 	$\eta_e = 0,98$
Bocchette aria calda 	$\eta_e = 0,97$	Pannelli radianti isolati dalla struttura (*) 	$\eta_e = 0,97$
Pannelli radianti annegati nelle strutture (*) 	$\eta_e = 0,95$	(*) Riferiti ad una installazione tra ambienti riscaldati oppure in una struttura muraria isolata esternamente ed avente un coefficiente globale di trasmissione termica minore di $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.	

Figura 26: Rendimenti di emissione di alcuni terminali

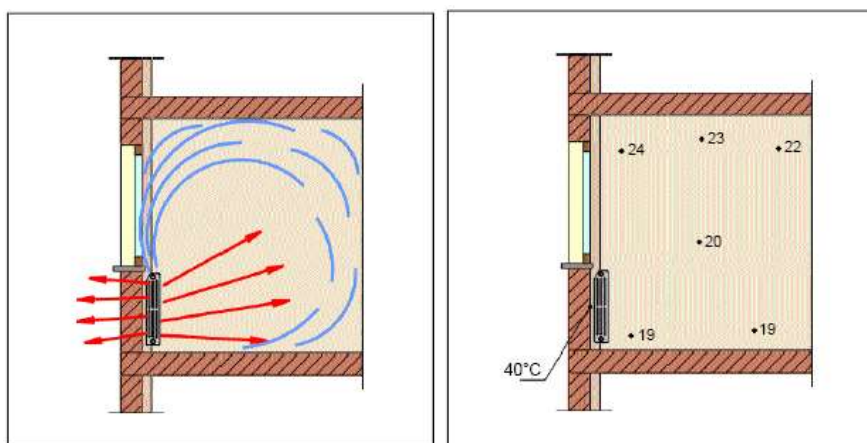


Figura 27: Esempio di disuniformità nella distribuzione del calore negli ambienti

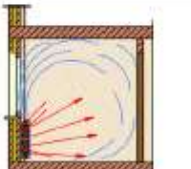
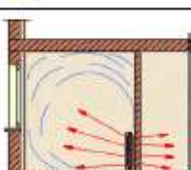
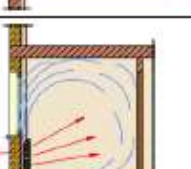
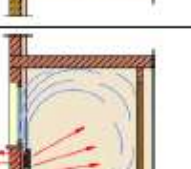
VALORI DEL RENDIMENTO DI EMISSIONE η_e : RADIATORI			
Posizione di installazione		Temperatura di mandata di progetto	
		65 °C	85 °C
Su parete divisoria interna di locale privo di pareti disperdenti.		0,99	0,96
Su parete esterna isolata e con superficie riflettente.			
Su parete divisoria interna di fronte a pareti disperdenti.		0,97	0,94
Su parete esterna isolata, senza superficie riflettente.			
Su parete esterna non isolata ($U > 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$).		0,93	0,90

Figura 28: effetti dei sistemi di montaggio sui rendimenti di emissione

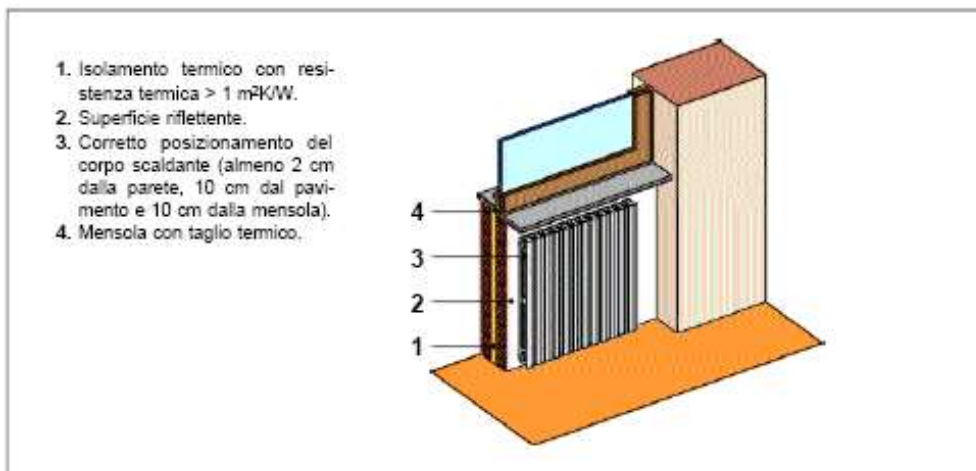


Figura 29: Corretta installazione di un radiatore

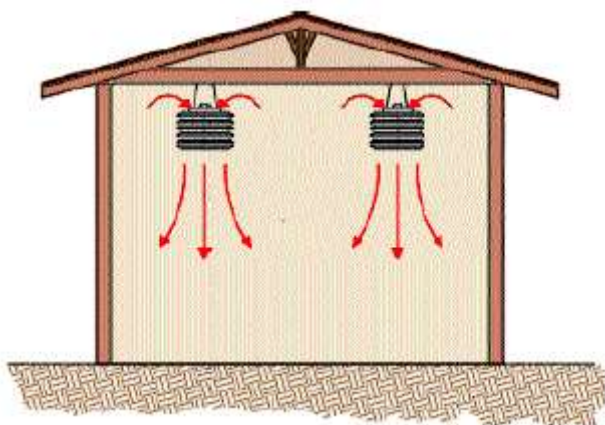


Figura 30: Applicazione di destratificatori

- Il rendimento di regolazione, η_c , è il rapporto fra il calore necessario per riscaldare un ambiente a temperatura fissata con una regolazione teorica perfetta ed il calore richiesto per il riscaldamento dello stesso con l'impianto di regolazione realmente utilizzato.

I valori consigliati sono riportati dalla norma UNI-10348.

Sistema di regolazione	Tipologia di prodotto	Radiatori e convettori	Pannelli radianti isolati dalla struttura	Pannelli radianti annessi alla struttura
(3) Per singolo ambiente senza preregolazione	Regolatore on-off	0,94	0,92	0,88
	Regolatore modulante (1 °C)	0,98	0,96	0,92
	Regolatore modulante (2 °C)	0,96	0,94	0,90

Figura 31: Rendimenti di regolazione secondo la UNI-10348

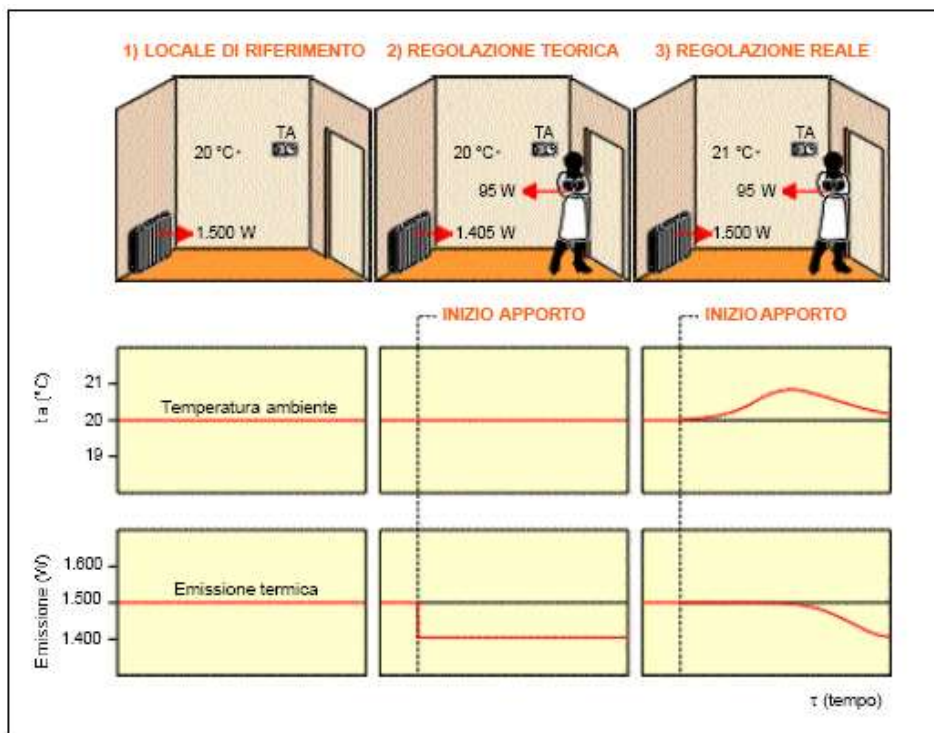


Figura 32: Schema della regolazione della temperatura ambientale

- Il rendimento di distribuzione, η_d , è il rapporto fra il calore fornito ai corpi scaldanti ed il calore prodotto in centrale prima dell'immissione nella rete di distribuzione. Esso viene calcolato mediante una procedura indicata dalla norma UNI-10347.

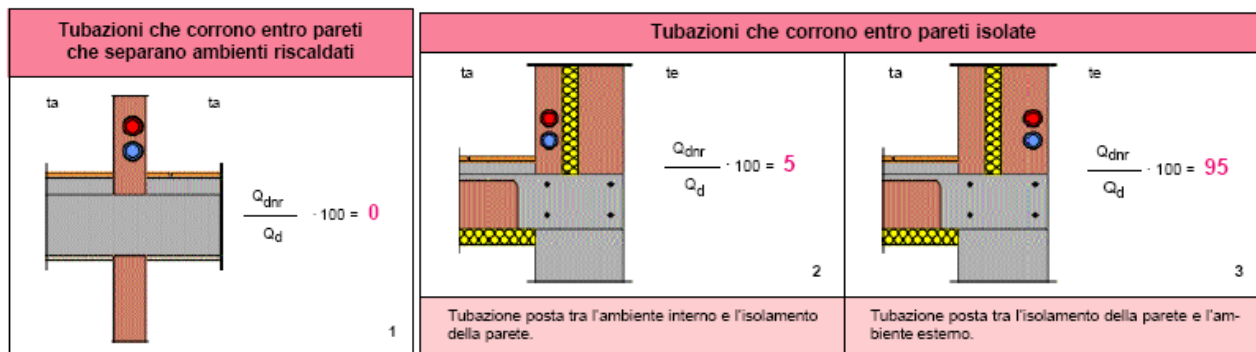


Figura 33: Effetti della posizione delle tubazioni sul rendimento di distribuzione

- Il rendimento di produzione, η_p , è il rapporto fra il calore prodotto in centrale termica ed immesso nella rete di distribuzione ed l'energia corrispondente alla sorgente utilizzata. Per i combustibili fossili si fa riferimento al potere calorifico inferiore. Questo rendimento dipende dalla potenza dei generatori, dal rendimento di combustione, dalle perdite attraverso l'involucro dei generatori, dalle perdite attraverso il camino e dai consumi di energia elettrica per le apparecchiature ausiliarie (bruciatori, pompe di circolazione, ...).

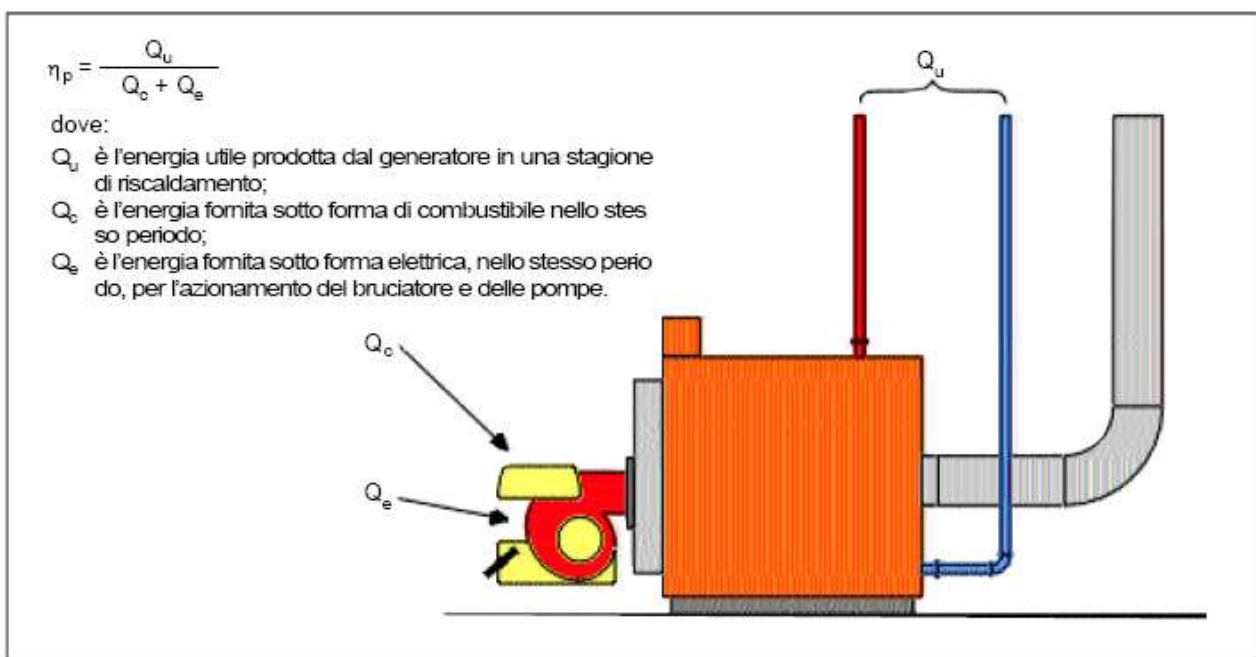


Figura 34: Rendimento di produzione

Vanno considerati i due casi possibili:

- A) generatore per acqua sanitaria separato;
- B) generatore per acqua sanitaria combinato.

I due casi sono raffigurati nelle figure seguenti:

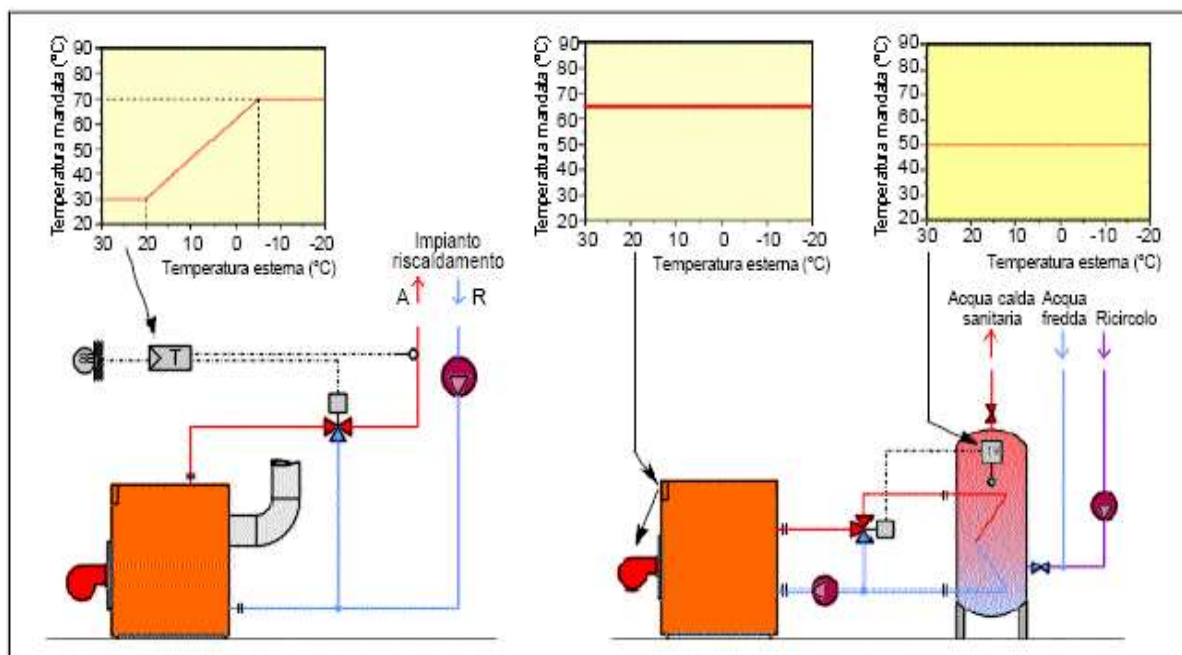


Figura 35: Generatori separati per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria

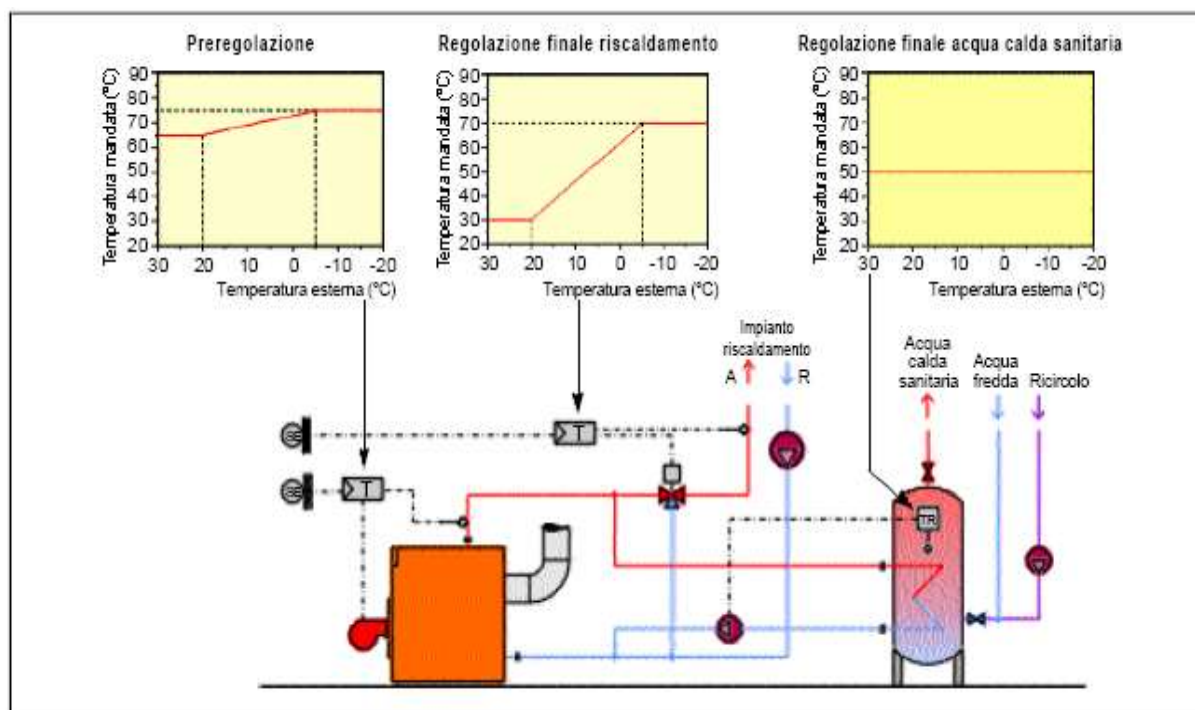


Figura 36: Generatore combinato per riscaldamento e acqua sanitaria

Rendimenti utili del generatore e DPR 551/1999

Con il DPR 551 del 21/12/1999 "Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica n. 412/93" sono state introdotte modifiche formali e di calcolo della relazione tecnica richiesta dalla L. 10/91.

L'art. 4 sopprime il punto 1 (Valore minimo del rendimento dei generatori di calore) dell'allegato E del DPR 412/93 e lo sostituisce con la tabella proposta nell'Allegato VI del DPR 660/96 e cioè:

<i>Tipo di caldaia</i>	<i>Intervalli di potenza</i>	<i>Rendimento</i>	<i>A potenza nominale</i>	<i>Rendimento</i>	<i>A carico parziale</i>
	<i>kW</i>	<i>Temperatura media dell'acqua in caldaia (°C)</i>	<i>Espressione del requisito di rendimento (%)</i>	<i>Temperatura media dell'acqua in caldaia (°C)</i>	<i>Espressione del requisito di rendimento (%)</i>
<i>Caldaie standard</i>	<i>4 ÷ 400</i>	<i>70</i>	$\geq 84 + 2\text{Log } P_n$	≥ 50	$\geq 84 + 3\text{Log } P_n$
<i>Caldaie a bassa temperatura (*)</i>	<i>4 ÷ 400</i>	<i>70</i>	$\geq 87.5 + 1.5\text{Log } P_n$	<i>40</i>	$\geq 87.5 + 1.5\text{Log } P_n$
<i>Caldaia a gas a condensazione</i>	<i>4 ÷ 400</i>	<i>70</i>	$\geq 91 + 1\text{Log } P_n$	$\geq 30 (**)$	$\geq 97 + 1\text{Log } P_n$
<i>* Comprese le caldaie a condensazione che utilizzano i combustibili liquidi.</i>					
<i>** Temperatura dell'acqua di alimentazione della caldaia</i>					

Tabella 14: Rendimenti utili dei generatori di calore

La verifica da eseguire risulta diversa per tipologia di generatore: i rendimenti termici utili devono rispettare i limiti fissati:

- *sia a potenza nominale espressa in kW, cioè in funzione alla potenza nominale P_n (100%), per una temperatura media dell'acqua nella caldaia di 70 °C;*
- *sia a carico parziale, cioè in funzionamento a carico parziale del 30%, per una temperatura media dell'acqua nella caldaia, diversa a seconda del tipo di caldaia.*

D.M. 17-03-2003

Il *Decreto Ministeriale* 17-03-2003 aggiorna il DPR 412/93 ed in particolare introduce un nuovo libretto di centrale. L'articolato del Decreto è il seguente.

Art. 1: Modelli di libretto di centrale e di libretto di impianto

1. A partire dal 1 settembre 2003 gli impianti termici con potenza nominale superiore o uguale a 35 kW e gli impianti termici con potenza nominale inferiore a 35 kW devono essere muniti rispettivamente di un "libretto di centrale" conforme all'allegato I del presente decreto e di un "libretto di impianto" conforme all'allegato II al presente decreto.

2. Per gli impianti esistenti alla data del 1 settembre 2003 i "libretti di centrale" ed i "libretti di impianto, già compilati e conformi rispettivamente ai modelli riportati negli allegati F e G del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, devono essere allegati ai libretti di impianto ed ai libretti di centrale di cui al comma 1 del presente articolo.

Art. 2 :Allegati

1. Gli allegati F e G al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993 n. 412 sono sostituiti, rispettivamente, dagli allegati I e II al presente decreto.

Art. 3: Precisazioni in ordine alla compilazione dei libretti di centrale e dei libretti d'impianto 1.

All'art. 11 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, dopo il comma 11, è inserito il seguente comma:

"11-bis: La compilazione iniziale del libretto di centrale e del libretto di impianto ed i successivi aggiornamenti possono essere effettuati anche su supporto informatico; in tal caso ogni singolo libretto dovrà essere stampabile su carta".

Il modello del nuovo libretto di centrale è stato pubblicato dal Ministero delle Attività Produttive.

Energia termica fornita dal sistema di produzione

L'energia termica primaria, Q_F , fornita dal sistema di produzione, detti η_d il rendimento di distribuzione, è dato dalla relazione:

$$Q_F = \frac{\sum_{j=1}^z Q_{hr,j}}{\eta_d} \quad [23]$$

ove $Q_{hr,j}$ è il fabbisogno energetico medio reale mensile della generica j .esima zona dell'edificio e z il numero totale delle zone in cui esso è suddiviso.

Calcolo del *FEN* (Fabbisogno Energetico Normalizzato)

L'energia primaria stagionale, Q_{st} , detto η_p il rendimento di produzione, è data dalla relazione:

$$Q_{st} = \frac{\sum_{i=1}^f \sum_{j=1}^z Q_{hr,j}}{\eta_p \eta_d} \quad [24]$$

ove i fabbisogni mensili sono estesi dal mesi di inizio al mese di fine del periodo di riscaldamento indicato per la zona climatica in progetto. Pertanto sommando il fabbisogno energetico primario di ciascun mese del periodo di riscaldamento si determina il fabbisogno stagionale, Q_{st} , di energia primaria. Il *FEN* si calcola mediante la relazione:

$$FEN = \frac{Q_{st}}{GG \cdot V} \quad [25]$$

e quindi si può procedere alla verifica con il FEN_{lim} dato dalla:

$$FEN_{lim} = \left[\underbrace{(C_d + 0.34n)}_{C_g} - k_u \left(\frac{0.01 \cdot I}{\Delta T_m} + \frac{a}{\Delta T_m} \right) \right] \frac{86.4}{\eta_g} \quad [26]$$

Quanto sin qui detto, seppur in modo sintetico e limitato, giustifica le affermazioni più volte fatte sulla necessità di automatizzare i calcoli mediante opportuni programmi elettronici.

Osservazioni sull'applicazione della L.10/91

Quanto sin qui esposto dimostra una notevole complessità nei calcoli necessari per applicare la L. 10/91 e il suo Regolamento DPR 412/93. Un calcolo manuale appare difficile per edifici aventi più di una decina di ambienti. Oggi sono disponibili numerosi programmi commerciali che rendono l'applicazione della L. 10/91 più accettabile, pur nella sua macchinosità. Le interfacce possono essere più o meno amichevoli e/o grafiche ma in ogni caso si tratta sempre di un procedimento di calcolo lungo, complesso e spesso tedioso. Quando le verifiche indicate nelle fasi 1 e 2 non possono essere eseguite con sole operazioni *termotecniche*²⁰ occorre modificare il rapporto S/V e quindi l'architettura dell'edificio e pertanto si richiede nuovamente l'intervento del progettista edile. Meglio si procede se il lavoro viene svolto in *team* fra progettisti di varia estrazione perché si possono modificare immediatamente le ipotesi progettuali dopo una verifica termotecnica.

L'importanza del *team* consiste proprio nel lavoro contemporaneo a più braccia e non nel lavoro in serie, attribuito per semplice competenza, su elaborati già impostati da chi ha avuto precedenza e magari non congruenti con tutti i punti di vista (termico, acustico, illuminotecnico, strutturale, tecnologico, ...).

²⁰ Si intendono con queste termine le operazioni possibili al termotecnico: aggiunta di coibente alle pareti, ipotesi di infissi a maggior tenuta, ipotesi d'uso di doppi vetri, isolamento *a cappotto* in tutto l'edificio. Al di là di queste operazioni possibili occorre intervenire sull'architettura (*rapporto S/V*).

Ma al di là dell'applicazione pedissequa della complessa normativa per la L. 10/91 e suoi aggiornamenti occorre tenere presente che il calcolo dei carichi termici invernali (*Verifica di picco*) è solo *formale* e può non tenere conto delle reali condizioni evolutive delle condizioni termoigrometriche di un edificio.

Basti pensare che il carico di picco è calcolato trascurando gli apporti solari esterni perché, giustamente, le condizioni di carico massimo si hanno quando la temperatura esterna è quella minima (cioè quella di progetto) e la radiazione solare è assente (cielo coperto).

Le cose vanno quasi sempre bene per edifici aventi normale superfici vetrate mentre si possono (e si hanno!) gravi problemi quando si hanno superfici vetrate molto estese o addirittura pareti tutte vetrate. L'effetto serra, in questi casi, può produrre un notevole surriscaldamento ambientale con conseguente necessità, almeno per gli ambienti interessati, di avere un raffrescamento piuttosto che un riscaldamento. Ciò significa che in presenza di grandi superfici vetrate occorre prevedere impianti che possano fornire, a seconda delle necessità, sia il riscaldamento che il raffrescamento degli ambienti. Si vuole qui analizzare più in dettaglio quanto sopra accennato con un riferimento ad un caso concreto.

Cause del surriscaldamento degli ambienti

La radiazione solare ha una composizione spettrale che prevalentemente è caratterizzata da lunghezze d'onda inferiori a 3 micrometri e perciò dette *corte*. Il vetro ha un comportamento caratteristico nei confronti della radiazione solare. Esso, infatti, presenta un *fattore di trasmissione* dell'energia tale da formare una sorta di finestra trasparente per le radiazioni comprese fra 0,3 e 3 micrometri, come illustrato nella già nota Figura 37.

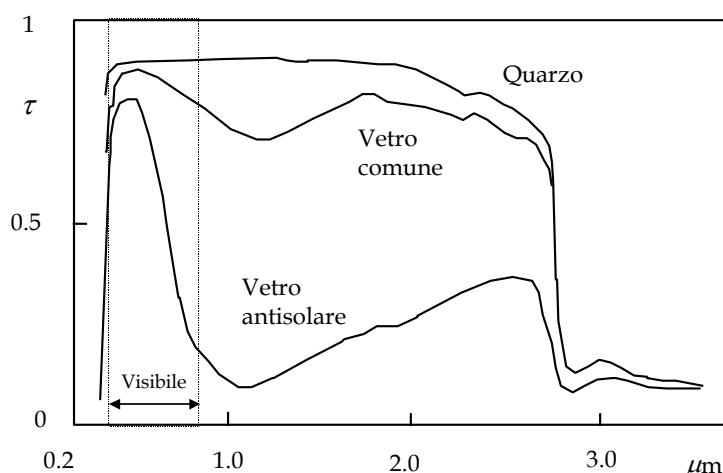


Figura 37: Finestra di trasparenza del vetro

In pratica quasi tutta la radiazione solare (*circa il 94%*) viene lasciata passare dal vetro e questo ne determina la sua caratteristica detta *trasparenza*. Tuttavia, se da un lato la trasparenza del vetro appare come una qualità positiva per le possibilità di interrelazione dell'Uomo con l'ambiente esterno e per le capacità riflessive che fanno del vetro un materiale architettonicamente apprezzato anche per le capacità di auto adeguarsi all'ambiente circostante, va qui considerata una qualità che, se mal governata, può provocare dissesti notevoli alla qualità delle condizioni termoigrometriche interne degli edifici: si tratta della capacità di produrre l'*effetto serra*, del quale si è sopra accennato.

La radiazione solare che attraversa le superfici vetrate (*qualunque sia la tipologia del vetro e quindi qualsivoglia sia la percentuale della radiazione solare trasmessa*) subisce un processo di assorbimento e riflessioni interne all'ambiente in cui perviene provocando, qualora non si abbia un raffreddamento artificiale dell'ambiente stesso, un accumulo di energia interna di tutti i componenti (*pareti, soffitto, pavimento, mobili, ...*) con conseguente incremento della loro temperatura.

Per effetto di quest'incremento di temperatura delle masse interne all'ambiente si ha uno scambio di calore per convezione termica con l'aria interna. Inoltre si hanno emissioni radiative degli stessi componenti riscaldati caratterizzate da valori della lunghezza d'onda in genere (per valori di temperature superficiali di circa 30-35 °C) oltre i 9 *micrometri* e comunque tale da essere bloccati dalle superfici vetrate poiché oltre i 3 *micrometri* esse si comportano come normali pareti opache.

Pertanto l'energia solare di bassa lunghezza d'onda (*inferiore a 3 micrometri*) attraversa le superfici vetrate ma la radiazione emessa dai corpi interni agli ambienti, di alta lunghezza d'onda, viene bloccata. Questo effetto di *intrappolamento* delle radiazioni prende il nome di *effetto serra*.

La conseguenza che si ha negli ambienti è quella di far accrescere l'energia interna accumulata e conseguentemente anche la temperatura dell'aria interna. In questo modo si ha il *surriscaldamento* dell'aria e il conseguente incremento del discomfort termico.

Appare evidente che per ridurre il surriscaldamento ambientale è necessario ridurre le radiazioni solari entranti negli stessi ambienti. Inoltre l'avere inserito tende all'interno degli ambienti (*in sostituzione degli schermi esterni*) **non riduce l'effetto serra** poiché la radiazione solare una volta attraversata la superficie vetrata viene assorbita dalle tende che, riscaldandosi, emettono radiazioni di alta lunghezza d'onda (*oltre i 10 micrometri*) che vengono sempre bloccate dal vetro restando all'interno degli ambienti. In pratica le tende producono solamente un *oscuramento* e cioè riducono la frazione di radiazione visibile nell'ambiente ma non l'effetto serra.

Nel caso di presenza di grandi superfici vetrate in ciascun ambiente si rende necessario ridurre al massimo la radiazione entrante ad esempio applicando un film protettivo all'esterno delle superfici vetrate.

2.5 I NUOVI DECRETI SUL RISPARMIO ENERGETICO: DLGS 192/05 E DLGS 311/06

L'Italia, che pure aveva predisposto un buon apparato normativo con la L. 10/91, ha recepito la direttiva europea con il D.lgs. 192/05²¹ modificato, successivamente, dal D.lgs. 311/06. Questi decreti legislativi hanno modificato notevolmente l'iter progettuale fino ad allora indicato dal DM 412/93 ma sono rimasti anche non del tutto applicati per la mancanza dei decreti attuativi. Solo di recente sono stati emanati il DPR 59/09 e il DM 06/09 per le norme attuative della certificazione energetica. Manca ancora un DPR per l'istituzione dell'albo regionale dei certificatori energetici e le norme di accreditamento. Va tuttavia osservato che per effetto della cosiddetta *clausola di cedevolezza* alcune regioni italiane, invero le più sensibili a queste tematiche, hanno già legiferato in proprio sulle modalità per la certificazione energetica. E' avvenuto che la Lombardia ha normative diverse da quelle della Liguria o dell'Emilia e Romagna o del Piemonte e della Puglia. Le province autonome di Trento e Bolzano hanno il loro sistema di certificazione denominato CasaClima®.

In definitiva si è creata una sorta di regionalizzazione delle procedure di certificazione e di accreditamento che sta apportando una discriminazione ed un danno ulteriore alla problematica. I certificatore possono esercitare solo se iscritti negli albi regionali con procedure, programmi ed esami diversi da regione a regione. Si spera che questa distorsione legislativa trovi quanto prima una soluzione nell'armonizzazione generale indicata e propugnata dal DPR 59/09.

2.6 DECRETO LEGISLATIVO N. 192 DEL 19 AGOSTO 2005.

Sul supplemento ordinario n. 158 della Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23 settembre 2005, è stato pubblicato il Decreto Legislativo n. 192 del 19 agosto 2005 **“Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia”**.

²¹ Per uno studio più dettagliato su quest'argomento e sulla problematica della Certificazione Energetica si consiglia di far riferimento al volume: G. Cammarata et Alii – “Certificazione Energetica in Sicilia” – Ed. Grafill S.p.A.

In conseguenza di questo, il DM 27 luglio 2005 è abrogato dal 8 ottobre 2005, data di entrata in vigore del Decreto Legislativo n. 192 del 19 agosto 2005. Si è compreso che si tratta di un'impostazione evoluta, in linea con la direttiva europea 2002/91/CE, che propone, ad esempio, criteri di ottimizzazione sui singoli elementi dell'edificio (limiti sui valori di trasmittanza) al posto del "vecchio" calcolo del Cd della Legge 10/91. Inoltre tutta la normativa vigente (L 10/91 e DPR 412/93 con successivi aggiornamenti) risulta ampiamente rimaneggiata. Viene, in particolare, modificata la Relazione di calcolo ai sensi dell'art. 28 della L. 10/91 e le verifiche precedentemente indicate nei decreti attuativi. Il 29/12/2006 è stato pubblicato il D.lgs. n. 311 (detto anche 192 bis) che introduce disposizioni correttive e integrative al D.lgs. 192/05. Quest'ultimo decreto incide profondamente sia nel campo della progettazione termotecnica che in quello della progettazione architettonica con l'introduzione di vincoli progettuali notevoli dei quali si parlerà nel prosieguo.

Per effetto del D.lgs. 311/96 il D.lgs. 192/05 è modificato sensibilmente e il nuovo testo coordinato viene qui brevemente riportato. Le principali innovazioni introdotte sono così riassumibili:

- **Estensione dell'obbligo di emissione del certificato di prestazione energetica anche per edifici esistenti** ma solo al momento della loro immissione sul mercato immobiliare a titolo oneroso. Le disposizioni introdotte, rilevabili nel dettaglio all'Art. 2 del nuovo provvedimento, prevedono un'applicazione temporale graduale e con riferimento alla superficie utile in metri quadrati dell'immobile. L'emissione dell'attestato diventa condizione essenziale per accedere ad agevolazioni di natura fiscale o a contributi di fondi pubblici per interventi sull'edificio e sugli impianti correlati a risparmio energetico.
- **Tempi più stretti per l'adeguamento ai nuovi livelli di isolamento termico** (i valori di trasmittanza termica previsti per il 1° gennaio 2009 sono anticipati di un anno al 1 Gennaio 2008) e introduzione di nuovi limiti ancora più restrittivi dal 2010.
- **Nuovi limiti prestazionali e prescrittivi** suddivisi per ambito di intervento nell'Allegato I. Si evidenzia che per tutte le categorie di edifici nel caso di nuova costruzione e ristrutturazione (Art. 3 comma 2 lettere a) e b)) si procede in sede progettuale alla verifica contemporanea del:
 - calcolo del **fabbisogno di energia primaria** per la climatizzazione invernale EPci ed alla verifica che risulti inferiore ai limiti in tabella 1 Allegato C
 - calcolo del rendimento medio stagionale dell'impianto termico e verifica che lo stesso risulti superiore al valore limite calcolato con $\eta_g = (65 + 3 \log P_n) \%$
 - verifica delle trasmittanze termiche delle diverse componenti edilizie opache e trasparenti, che non devono superare il 30% dei valori fissati alle tabelle di cui ai punti 2,3,4 All. C.

Per tutte le categorie di edifici pubblici e privati, **obbligo di utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia termica ed elettrica.**

L'impianto di produzione di energia termica deve essere progettato per coprire almeno il 50% del fabbisogno di energia primaria richiesta per produzione di acqua calda sanitaria. Sono però rimandate ad apposito Decreto le modalità applicative degli obblighi, le prescrizioni minime e le caratteristiche tecniche e costruttive degli impianti che utilizzano predette fonti di energia.

- **Ai fini di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti nel caso di edifici nuovi e ristrutturazioni nei casi previsti al comma 9 Allegato I è necessario valutare per tutte le categorie di edifici, le opere efficaci tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare dei sistemi schermanti.** Per gli immobili (escluse le categorie elencate al comma 10 Allegato I) con superficie utile superiore a 1000 m² è invece **obbligatorio** la presenza di sistemi schermanti esterni.

Il provvedimento contiene inoltre un modello aggiornato di **Relazione tecnica** di cui all'Art 28 Legge 10/91 (**Allegato E**), dei moduli aggiornati per la stesura dei rapporti di controllo degli impianti termici in funzione della potenzialità (**Allegato F e G**) e una serie di nuove misure relative alle operazioni di controllo e manutenzione degli impianti termici (**Allegato L**).

Per eseguire rigorosamente i calcoli della prestazione energetica dell'edificio e le verifiche necessarie all'applicazione del Decreto Legislativo n 311, a memoria del progettista è riportato in **Allegato M** un elenco di norme UNI rispondenti ed attualmente in vigore.

Come si può osservare i cambiamenti introdotti sono notevoli e incidono nel modus operandi dei progettisti sia termotecnica sia architettonici.

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	<i>fino a 600 GG</i>	<i>a 601 GG</i>	<i>a 900 GG</i>	<i>a 901 GG</i>	<i>a 1400 GG</i>	<i>a 1401 GG</i>	<i>a 2100 GG</i>	<i>a 2101 GG</i>	<i>a 3000 GG</i>	<i>oltre 3000 GG</i>
≤ 0,2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8
≥ 0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

Figura 38: Nuovi parametri del D.lgs. 192/05 per edifici E1 dal 2010

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	<i>fino a 600 GG</i>	<i>a 601 GG</i>	<i>a 900 GG</i>	<i>a 901 GG</i>	<i>a 1400 GG</i>	<i>a 1401 GG</i>	<i>a 2100 GG</i>	<i>a 2101 GG</i>	<i>a 3000 GG</i>	<i>oltre 3000 GG</i>
≤ 0,2	2,0	2,0	3,6	3,6	6	6	9,6	9,6	12,7	12,7
≥ 0,9	8,2	8,2	12,8	12,8	17,3	17,3	22,5	22,5	31	31

Figura 39: : Nuovi parametri del D.lgs. 192/05 per edifici diversi da E1 dal 2010

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U (W/m²K)	Dall'1 gennaio 2008 U (W/m²K)	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m²K)
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U (W/m²K)	Dall'1 gennaio 2008 U (W/m²K)	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m²K)
A	0,80	0,42	0,38
B	0,60	0,42	0,38
C	0,55	0,42	0,38
D	0,46	0,35	0,32
E	0,43	0,32	0,30
F	0,41	0,31	0,29

3.2 Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno

Tabella 3.2 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento espressa in W/m²K

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U (W/m²K)	Dall'1 gennaio 2008 U (W/m²K)	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m²K)
A	0,80	0,74	0,65
B	0,60	0,55	0,49
C	0,55	0,49	0,42
D	0,46	0,41	0,36
E	0,43	0,38	0,33
F	0,41	0,36	0,32

Figura 40: Nuovi parametri del D.lgs. 192/05 per soffitti, pavimenti e verso locali non riscaldati

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U (W/m ² K)	Dall'1 gennaio 2008 U (W/m ² K)	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	5,5	5,0	4,6
B	4,0	3,6	3,0
C	3,3	3,0	2,6
D	3,1	2,8	2,4
E	2,8	2,4	2,2
F	2,4	2,2	2,0

Tabella 4b. Valori limite della trasmittanza centrale termica U dei vetri espressa in W/m²K

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U (W/m ² K)	Dall'1 gennaio 2008 U (W/m ² K)	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	5,0	4,5	3,7
B	4,0	3,4	2,7
C	3,0	2,3	2,1
D	2,6	2,1	1,9
E	2,4	1,9	1,7
F	2,3	1,7	1,3

Figura 41: Trasmittanze per le chiusure trasparenti e per i vetri

Il nuovo decreto è entrato in vigore il 08/10/05. Il DM 22-11-2012 ha aggiornato l'allegato A.

2.6.1 CONSIDERAZIONI SUL D.LGS 192/2005 E SUL D.LGS 311/06

Questo decreto va ad innovare la normativa esistente sulla riduzione del consumo energetico per il riscaldamento degli edifici. I dati principali si possono così riassumere:

- *Verifica di isolamento non più legata al calcolo del Cd ma legata alla trasmittanza di tutti gli elementi disperdenti (vedi Figura 38 e Figura 40): Tale verifica può essere fatta solo quando il rapporto $S_v/S_u < 0.18$ nel qual caso non occorre verificare l'EP_i;*
- *Mantenimento del rendimento globale di impianto ma con valore limite inferiore più elevato;*
- *Calcolo del consumo specifico di energia (EP_{CI}) ai fini della certificazione energetica degli edifici;*
- *Incentivazione all'utilizzo di energie alternative (solare termico, solare fotovoltaico, teleriscaldamento);*
- *Verifica delle prestazioni di impianto;*
- *Calcoli redatti da tecnici competenti con assunzione di responsabilità diretta.*
- *La necessità di prevedere adeguate superfici di esposizione non ombreggiate ed esposte a sud per l'installazione di impianti solari termici (50% del fabbisogno di acqua calda sanitaria) comporta un'interazione forte nei criteri di progettazione architettonica. Tale necessità si complementa con quanto indicato dalla UNI TS 11300/4 e dal D.Lgs. 28/2011 sulle FER*
- *Le nuove abitazioni e quelle da ristrutturare superiori a 1000 mq dovranno tenere conto di queste specifiche e dovranno prevedere l'interazione dell'impiantistica solare non solamente con una adeguata superficie di raccolta ma anche con la previsione di un volume tecnico e di opportuni cavedi di collegamento, oltre alle disposizioni del D.Lgs. 28/2011.*
- *Per superfici utili superiori a 1000 m² occorre prevedere schermi solari esterni o infissi con fattore solare non inferiore al 50%.*

La certificazione energetica non è da considerare di secondaria importanza: tutti gli atti notarili di compravendita dovranno citare il certificato energetico degli edifici. Si presume un'influenza di questa certificazione energetica anche sul valore degli immobili per effetto delle incentivazioni che da questa certificazione deriveranno.

2.6.2 SANZIONI PREVISTE

Sono previste sanzioni per i seguenti casi:

- *Il progettista che rilascia relazione tecnica o certificazione energetica non conforme allo standard*
- *Il progettista che rilascia relazione tecnica o certificazione energetica non veritiere*
- *Il direttore dei lavori che omette di presentare l'asseverazione di conformità*
- *Il direttore dei lavori che presenta falsa asseverazione di conformità*
- *Il “conduttore” che non provvede alla manutenzione*
- *L'operatore incaricato del controllo e manutenzione che non rilascia o falsifica il rapporto di controllo tecnico*
- *Il **costruttore** che non consegna l'originale della certificazione energetica*

2.6.3 NORME ABROGATE

Sono abrogate le seguenti norme della **Legge 10/91**

- *l'articolo 4, commi 1 e 2 (decreto per norme edilizia sovvenzionata);*
- *l'articolo 28, commi 3 e 4; (decreto su format, riferimento ad art. 33 e deposito in comune)*
- *l'articolo 29; (rif. Legge 46 per certificazione e collaudo)*
- *l'articolo 30; (certificazione energetica)*
- *l'articolo 33, commi 1 e 2; (controlli e verifiche)*
- *l'articolo 34, comma 3 (sanzione al progettista ed al costruttore -> da % sul valore dell'opera a % sulla parcella)*
- *Sono abrogate le seguenti norme del **DPR 412***
- *l'articolo 5, commi 1, 2 e 4; (η_g val. limite e riferimento a norme UNI per calcolo η_p)*
- *l'articolo 7, comma 7; (riferimento a norme UNI 9182 per dimensionamento generatore)*
- *l'articolo 8 (obbligo del punto di prelievo fumi).*
- *È abrogato il D.P.R. di recepimento delle norme UNI²² serie 1034x e altre.*

2.6.4 NUOVO INDICATORE DI PRESTAZIONE ENERGETICA

Nel caso di edifici di **nuova costruzione** e **ristrutturati con superficie utile > 1000 m²**, si procede in sede progettuale alla determinazione del **fabbisogno annuo di energia primaria** per la climatizzazione invernale (EP_{CI}) espresso in chilowattora per metro quadrato²³ di **superficie utile** dell'edificio (kWh/m² anno) e alla verifica che lo stesso risulti inferiore ai valori riportati nella seguente tabella.

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	A 601 GG	A 900 GG	a 901 GG	a 01400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
$\leq 0,2$	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55
$\geq 0,9$	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145

Tabella 15: Valori del EP_{CI}

²² Si osserva che l'abrogazione del recepimento di queste norme è un bene perché allarga la scelta di procedure di calcolo significative, ad esempio secondo normative di altri stati europei. Tuttavia la mancanza di un riferimento certo può anche portare ad un deterioramento della qualità progettuale. In realtà le norme UNI sono state nuovamente recepite, anche se non da sole, e quindi il problema del vuoto tecnico-normativo è venuto meno.

²³ Il DPR 59/09 dice che questa unità vale per edifici residenziali (cioè E.1 e alberghi). In tutti gli altri casi si utilizza l'indice di prestazione energetica espresso in kWh(m³.anno) e le scale di riferimento sono anch'esse espresse in quest'unità.

Sostituzione dell'indice di prestazione energetica, **FEN** espresso in $\text{kJ}/\text{m}^3 \text{GG}$ con un indice EPCI espresso in $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{anno})$, o in $\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{anno})$ per edifici non residenziali, e relativi limiti.

Tali limiti sono mediamente circa il **40% in meno** dell'equivalente limite espresso in FEN.

- *S, espressa in metri quadrati, è la superficie che delimita verso l'esterno (ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento) il volume lordo riscaldato V: superficie disperdente $\leq$ sup. di inviluppo del volume V;*
- *V è il volume lordo, espresso in metri cubi, delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.*

Si fa riferimento al regime di **riscaldamento continuo** (24 ore su 24) e si determina con la UNI 10379 -2007 e le UNI TS11300/1 e 2 il **fabbisogno di energia primaria convenzionale** stagionale per il riscaldamento, Q e si normalizza tale energia primaria per i metri quadri di superficie utile Q/S_{utile}

Per gli edifici ristrutturati con s.u. minore di 1000 m^2 non E8 – comma 2 non si calcola e non si verifica l'indice di efficienza energetica EP_{CI} ma si impone **solo** il rispetto di specifici parametri prescrittivi:

- *trasmissioni termiche $U \leq U_{\text{lim}}$*
- *trasmissioni strutture verticali opache (comma 6)*
- *trasmissioni strutture orizzontali opache (comma 7)*
- *trasmissioni chiusure trasparenti (comma 8)*

Per le trasmissioni limiti valgono quanto indicato in Figura 38 e Figura 40. Lo stesso dicasi per le trasmissioni degli infissi.

Per i ponti termici occorre tenere conto delle aree frontali delle superfici e cioè occorre calcolare la trasmissione media pesata secondo le aree delle superfici frontali dei vari componenti la parete e utilizzare questa per il confronto con la trasmissione limite riportata nelle tabelle. Vale la relazione²⁴:

$$U_{\text{limite}} \geq \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{elementi}}} A_i \cdot U_i}{\sum_{i=1}^{N_{\text{elementi}}} A_i}$$

Nel caso di edifici di nuova costruzione e ristrutturati con s.u. > 1000 m^2 , se:

- *sono rispettati i requisiti sulle trasmissioni termiche (commi 6, 7 e 8)*
- *l'impianto termico ha un rendimento globale medio stagionale η_g (nuova espressione):*
- $\eta_g \geq \eta_{g,\text{lim}} = 75 + 3 \log_{10}(P_n)$

si può attribuire all'edificio il valore limite dell'indicatore energetico EP_{CI} senza calcolarlo

Per nuova installazione o ristrutturazione totale impianto termico – comma 3 allora:

- *Si calcola l'indice di efficienza energetica EP_{CI} e lo si verifica comparandolo con il valore limite della tabella 1 allegato C aumentato del 50%:*
- $EP_{\text{CI}} \leq 1.5 \cdot EP_{\text{CI},\text{lim}}$

In alternativa se è potenza nominale < 100 kW si può applicare il criterio per sola sostituzione del generatore termico

Nel caso di sostituzione del generatore termico allora si può evitare qualsiasi calcolo se si verifica l'esistenza dei requisiti:

²⁴ Nel capitolo sui ponti termici si faranno alcune osservazioni sul ponte termico corretto introdotto da questo decreto legislativo.

- *i nuovi generatori siano certificati e dotati della marcatura di rendimento energetico pari a tre o quattro stelle*
- *la temperatura media del fluido termovettore in corrispondenza delle condizioni di progetto sia non superiore a 60°C;*
- *siano presenti dispositivi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone aventi caratteristiche di uso ed esposizioni uniformi, di cui al successivo comma 12 (già obbligatorio negli edifici nuovi o ristrutturati);*
- *se, solo per potenze del focolare maggiori o uguali a 35 kW, siano installati nuovi generatori di potenza nominale del focolare non superiore del 10% a quella dei generatori che vengono sostituiti.*

Se non è verificato *anche uno solo* dei predetti requisiti occorre:

- *calcolare e verificare il rendimento di produzione medio stagionale η_p*

$$\eta_p \geq \eta_{p,\text{lim}} = 77 + 3\log_{10}(P_n)$$

- *così come richiesto dal DPR 412, cioè tenendo conto delle condizioni programmate di accensione-spegnimento o attenuazione;*
- *calcolare e verificare l'indicatore di efficienza energetica EP_{cl} , come richiesto al comma 1.*

2.6.5 DISPOSITIVI DI REGOLAZIONE

“Oltre quanto richiesto dal DPR 412-551 per tutti gli edifici e gli impianti termici nuovi o ristrutturati, è prescritta l'installazione di dispositivi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone aventi caratteristiche di uso ed esposizioni uniformi al fine di non avere sovrariscaldamento per effetto degli apporti solari e degli apporti gratuiti interni.”

Il D.lgs. 192-2005 di fatto rende obbligatoria *sempre e comunque* l'installazione dei dispositivi di regolazione automatica di ambiente nei singoli locali o zone, rendendo inutile la verifica del potenziale surriscaldamento legato ai guadagni solari

2.6.6 EDIFICI PUBBLICI

Nel caso di edifici Pubblici o ad uso pubblico di nuova costruzione è **obbligatoria** l'installazione di impianti solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria.”

“L'impianto deve essere progettato e realizzato in modo da coprire almeno il 50% del consumo annuo di energia termica richiesta dall'utenza per la produzione di acqua calda sanitaria.”
“L'eventuale impossibilità tecnica (non economica!) di rispettare la presente disposizione deve essere *dettagliatamente motivata* nella relazione tecnica.”

L'obbligatorietà della frazione solare pari al 50% del fabbisogno per la produzione dell'acqua calda sanitaria è tecnicamente ed economicamente ragionevole, la sua limitazione ai soli edifici pubblici limita però l'importanza del risultato. Restano sempre da verificare le disposizioni contenute nel D.Lgs. 28/2011 sulle fonti energetiche rinnovabili.

Si aggiunge al comma 15 dell'articolo 5 del DPR 412-92 che invece obbliga alla verifica tecnico-economica *anche per l'aspetto climatizzazione invernale*.

Il progettista dovrà inserire i calcoli e le verifiche previste nella relazione attestante la rispondenza alle prescrizioni, che il proprietario dell'edificio, o chi ne ha titolo, deve depositare presso le amministrazioni competenti, in doppia copia, insieme alla denuncia dell'inizio dei lavori relativi alle opere. “Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica sono riportati nell'allegato E.”

Tra le poche novità sostanziali è la scomparsa dagli schemi della documentazione delle valutazioni specifiche all'impiego delle fonti rinnovabili di energia per gli edifici pubblici ed ad uso pubblico. In realtà *l'obbligo di valutazione sussiste* poiché è sempre in vigore sia l'art. 1 comma 3, sia l'art. 26 comma 7 della legge 10-91, sia il comma 15 del DPR 412-92

Nel caso di edifici pubblici o a uso pubblico, si ritiene ormai parte integrante nel normale processo progettuale la valutazione sul ricorso alle fonti rinnovabili e quindi si richiede di *documentare solo il non ricorso* ovviamente nella sezione relativa alle deroghe.

L'altra novità principale è, sempre per un edificio pubblico o a uso pubblico, :

- *“per gli Enti soggetti all'obbligo della nomina di un Responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia, la relazione progettuale dovrà essere obbligatoriamente integrata attraverso attestazione di verifica sulla utilizzabilità delle fonti rinnovabili*

Cioè

- *il responsabile deve integrare la relazione tecnica con un'“attestazione di verifica sulla utilizzabilità delle fonti rinnovabili, cioè deve eseguire o far eseguire una verifica tecnica sull'utilizzabilità delle fonti rinnovabili per la riduzione dell'impiego di energia primaria e deve sempre sottoscriverne i risultati, assumendosi la responsabilità di quanto riportato (asseverazione)*

2.6.7 NUOVA RELAZIONE EX ART. 28 L. 10/91

Sono previste diverse novità nella stesura della Relazione Tecnica. In particolare:

- *dati tecnici e costruttivi dell'edificio:*
- *compare la superficie utile (calpestabile)*
- *scompare stranamente la massa efficace dell'involucro edilizio*
- *scompare la classe di permeabilità dei serramenti (che in realtà verrà recuperata successivamente);*
- *dati relativi all'impianto termico:*
- *sparisce (apparentemente) la richiesta di fornire lo schema funzionale dell'impianto con il dimensionamento della rete del fluido termovettore e delle apparecchiature e con evidenziazione dei dispositivi di regolazione e contabilizzazione; tale schema doveva anche riportare una tabella riassuntiva delle apparecchiature con le loro caratteristiche funzionali e di tutti i componenti rilevanti ai fini energetici con i loro dati descrittivi e funzionali; lo schema funzionale, senza l'obbligo delle specifiche suddette va comunque riportato*
- *dati relativi all'impianto termico:*
- *relativamente ai condotti di evacuazione dei prodotti della combustione, essendo stato abrogato il recepimento delle norme UNI come unica regola tecnica da seguire, si chiede di dichiarare con quale norma è stato eseguito il dimensionamento;*
- *principali risultati dei calcoli:*
- *componenti opachi: oltre alle caratteristiche termiche (trasmittanza) ed igrometriche occorre specificare la massa areica frontale; sparisce ogni riferimento ad uno specifico formato di presentazione di dati e si rinvia (per la loro descrizione) ad un generico allegato alla relazione; infine il “Confronto con i valori limite all'art. 10....”, va letto come art. 11 , che poi rimanda all'appendice I, ed in particolare ai commi 6 e 7 (trasmittanza limite), e va effettuato solo se si è presenza di ristrutturazione dell'involucro edilizio degli edifici non E.8 con meno di 1000 m² di superficie utile, o qualora si decidesse di optare per la procedura “semplificata”.*

2.6.8 LIMITI ARCHITETTONICI IMPOSTI DAL D.LGS 192/05 E 311/06

L'art. 10 dell'All. I del D.lgs. 311/06 imponeva inizialmente che siano presenti schermi antisolari esterni. Inoltre l'art. 21 dello stesso allegato così recitava:

- *“Nel caso di edifici di nuova costruzione, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione invernale ed estiva, sono prescritti limiti massimi al rapporto superficie trasparente e superficie opaca dell'involucro edilizio nella seguente misura:*

- **0,2²⁵**, nel caso di edifici appartenenti alla categoria E(1) ad eccezione di collegi, conventi, case di pena e caserme;

- 0,5, per i restanti edifici, ad eccezione delle categorie E.6 ed E.8.”

Successivamente il DPR 59/09 (Regolamento di attuazione del D.Lgs. 192/05) ha abrogato questa disposizione introducendo la possibilità di applicare le verifiche prestazionali (cioè che le trasmittanze degli elementi disperdenti siano inferiori a quelle limite: $U_i < U_{i,lim}$) se si ha la condizione:

$$\frac{S_{vetrata}}{S_{utile}} \leq 0.18$$

Pertanto i progettisti architettonici debbono ora verificare sia il contributo solare (che provoca *surriscaldamento*) e la massa superficiale delle pareti che il rapporto fra le superfici vetrate e la superficie utile in pianta.

Inoltre occorre predisporre sempre una superficie di raccolta della radiazione solare sia per collettori termici sia fotovoltaici. Tutti questi limiti non sono rivolti agli impiantisti ma ai progettisti architettonici e forniscono indicazioni ben precise sulle metodologie progettuali da seguire.

Controlli della superficie vetrata

Il controllo del rapporto *superficie_vetrata/Superficie_Utile* sia per edifici privati (categoria E.1) che per le restanti categorie (escluse la categoria E.6, attività sportive, ed E.8, edifici industriali ed artigianali) è una vera innovazione progettuale.

Essa tende a evitare l'ingiustificata tendenza di edifici eccessivamente vetrati o con superficie vetrata abnorme in rapporto alla superficie dei pavimenti. Secondo quanto detto sull'effetto serra, una superficie eccessivamente vetrata produce due effetti notevoli:

- *Surriscaldamento ambientale (già esaminato a proposito dell'applicazione della >L. 10/91) sia durante il periodo estivo (con richiesta di maggior energia per la climatizzazione) che durante il periodo invernale (con la necessità di avere impianti a quattro tubi per fronteggiare entrambe le richieste di raffrescamento e riscaldamento);*
- *Eccessiva luminosità interna degli ambienti con effetti negativi sulle suppellettili presenti all'interno (scoloritura delle superfici, indurimento e rottura di elementi in plastica, deterioramento di superfici pitturate, .).*

Predisposizione della superficie di raccolta dell'energia solare

La predisposizione della superficie di raccolta dell'energia solare è di particolare importanza perché impone di fatto di utilizzare le coperture come superficie attrezzata per l'energia solare.

Queste possono essere sia a falde opportunamente orientate (possibilmente verso sud) e con un'inclinazione ottimale (di solito pari alla latitudine del luogo – 10 ° per raccolta estiva e + 10° per raccolta prevalentemente invernale). Sugli impianti solari si parlerà più dettagliatamente nel proseguimento.

²⁵ Questo limite è stato ulteriormente abbassato, per alcune verifiche relative alla sostituzione del generatore di calore, dal DPR 59/09 a **0,18**.

Oltre alla superficie destinata a ospitare i collettori solari termici e quelli fotovoltaici occorre predisporre i cavedi tecnici per il passaggio delle tubazioni e/o dei cavi elettrici ed un volume tecnico pari ad almeno 50 L per ogni metro quadrato di superficie di raccolta solare.

Ovviamente questa volumetria si aggiunge a quella per i locali tecnici convenzionali (caldaia, pompe, refrigeratori d'acqua, accumulatori termici, .).

2.6.9 METODOLOGIE DI CALCOLO

Sia il D.lgs. 192/05 che il D.lgs. 311/06 liberalizzano le procedure di calcolo che possono essere utilizzate in applicazioni degli stessi decreti.

Anche le norme UNI indicate dal DPR 412/93 perdono il loro valore di unicità di riferimento potendosi ora utilizzare qualsivoglia riferimento normativo certificato.

Sono introdotte le norme UNI TS11300 Parte 1,2,3 e 4.

Si vuole cioè precisare che la *massa*, la *capacità termica*, la *costante di tempo* e tutte le altre grandezze termo fisiche dell'edificio derivano dalla sua modalità costruttiva e non dal formalismo di calcolo termotecnico.

E' il *Progettista Architettonico che determina ogni caratteristica termofisica dell'edificio*.

Queste qualità termiche sono solo evidenziate dai calcoli termotecnici e non possono essere variate se non cambiando l'architettura stessa dell'edificio (sia la forma che incide nel rapporto S/V sia nella scelta dei materiali e delle stratigrafie delle pareti, soffitti e pavimenti e infine anche nella scelta degli infissi vetrati). La progettazione dell'involucro edilizio deve tenere conto non solo di fattori estetici e funzionali di carattere distributivo interno ma anche di fattori prestazionali relativi agli intorno del benessere termico, della qualità dell'aria, dell'intorno visivi e dell'intorno acustico.

Di certo non volevano i decreti legislativi in discussione per affermare che l'edificio è un sistema complesso e sinergico nel raggiungimento del benessere dell'Uomo.

L'applicazione del D.Lgs. 192/05 (e successive modifiche e integrazioni con il D.Lgs. 211/06) è pienamente attuata con il DPR 59/09. Il decreto ha oggi piena applicazione e non occorre più ricorrere alle norme transitorie.

2.6.10 CLAUSOLA DI CEDEVOLEZZA

L'art. 17 del D.lgs. 192/05 così recita:

“In relazione a quanto disposto dall'articolo 117, quinto comma, della Costituzione, e fatto salvo quanto previsto dall'articolo 16, comma 3, della legge 4 febbraio 2005, n. 11, per le norme afferenti a materie di competenza esclusiva delle regioni e province autonome, le norme del presente decreto e dei decreti ministeriali applicativi nelle materie di legislazione concorrente si applicano per le regioni e province autonome che non abbiano ancora provveduto al recepimento della direttiva 2002/91/CE fino alla data di entrata in vigore della normativa di attuazione adottata da ciascuna regione e provincia autonoma. Nel dettare la normativa di attuazione le regioni e le province autonome sono tenute al rispetto dei vincoli derivanti dall'ordinamento comunitario e dei principi fondamentali desumibili dal presente decreto e dalla stessa direttiva 2002/91/CE.”

In base a quanto sopra scritto le regioni possono legiferare autonomamente per il recepimento della direttiva 2002/91/CE relativa alla certificazione energetica degli edifici. In mancanza di norme regionali vale la normativa nazionale indicata nel D.lgs. 192/05.

La provincia autonoma di Trento e Bolzano ha deliberato autonomamente e qualche altra regione del Nord Italia. La Sicilia non ha accettato le linee guida nazionali (D.M. 06/09) con il D.A. 03/03/2011 e pertanto da tale data vale la normativa nazionale²⁶.

2.6.11 CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

La direttiva europea 2002/91/CE prescrive che tutti gli edifici debbano possedere un certificato nel quale, mediante opportune scale numeriche e/o grafiche, si caratterizzi il consumo energetico annuale degli edifici. La normativa italiana, introdotta con il D.lgs. 192/05 e integrata dal D.lgs. 311/06, prescrive che il parametro di certificazione energetica sia il fabbisogno specifico di energia per metro quadro e per anno, EP_{CI} in kWh/m².anno per edifici residenziali e in kWh/m³.anno per gli altri edifici.

La metodologia di calcolo di questo parametro non è stata ancora indicata poiché manca ancora la pubblicazione del regolamento di applicazione, come più volte detto. Tuttavia la stessa normativa indica che l' EP_{CI} deve essere calcolato tramite il FEN (Fabbisogno Energetico Normalizzato) e tutti i codici di calcolo sono già predisposti per il calcolo di questo parametro. Il calcolo del Fabbisogno energetico annuale procede secondo i seguenti semplici calcoli:

- *fabbisogno energetico annuale:*

$$EP_{CI} = \frac{Q_{STi}}{S_p} \quad \text{o in} \quad EP_{CI} = \frac{Q_{STi}}{V}$$

(in kWh/m².anno), ove:

- - V Volume dell'edificio, m³;
- - S_p Superficie utile riscaldata, m²;
- - Q_{STi} è l'energia stagionale invernale in kWh.

Lo EP_{CI} calcolato, in applicazione del D.M. 06/09 *Linee Guida Nazionali* (delle quali si parlerà più avanti), mediante le norme *UNI TS11300* parte 1 e 2 e va poi confrontato con l' EP_{C_limite} dato in Figura 38.

Alcune regioni forniscono una scala grafica per caratterizzare le prestazioni energetiche degli edifici, come mostrato in un esempio in Figura 42.

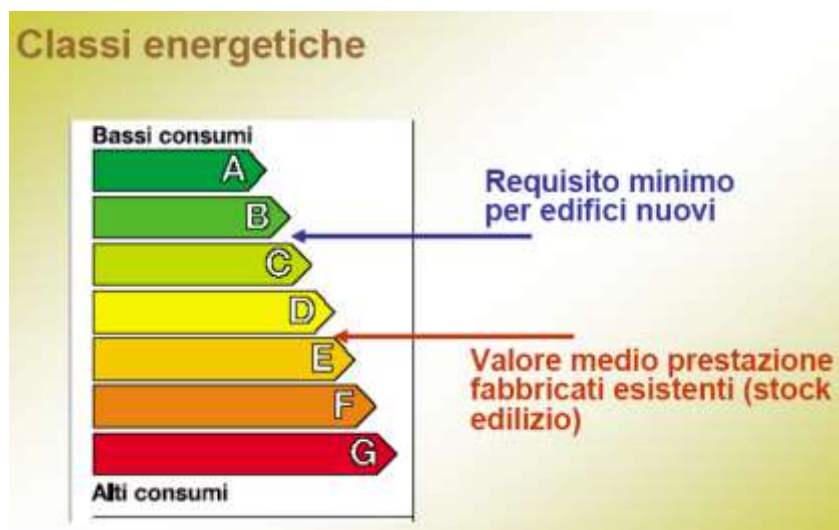


Figura 42: Classificazione energetica degli edifici

²⁶ Una trattazione completa delle problematiche sulla certificazione energetica è esposta nel volume di G. Cammarat ed altri: "Certificazione Energetica in Sicilia" ed Grafill SpA.

2.6.12 PREMIALITÀ DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI - CASA CLIMA®

La classificazione energetica degli edifici deve essere eseguita per gli edifici nuovi (inizialmente e temporaneamente effettuata dal *Direttore dei Lavori*) o per gli edifici già esistenti se soggetti a transazioni (acquisti e/o vendite) certificate dai notai.

Pertanto l'acquisto o la vendita di un immobile deve essere accompagnata dalla certificazione energetica dello stesso sia per edifici nuovi sia per edifici esistenti.

Al di là delle complicazioni delle attuali condizioni transitorie dovute alla mancanza dei decreti attuativi del D.Lgs 192/05, primo o poi si arriverà a regime con l'emissione dei certificati energetici per gli edifici interessati.

A questo punto tutti potranno scoprire la qualità energetica del proprio immobile semplicemente osservando quanto indicato in figure del tipo di Figura 42.

E' anche possibile che le regioni, per effetto della clausola di cedevolezza, deliberino di cambiare la scala di valutazione in modo più restrittivo ottenendo in questo modo giudizi più severi ovvero edifici più performanti. Ciò può avvenire anche attraverso una regolamentazione edilizia di tipo premiale verso gli edifici che presentano la certificazione di grado più elevato, come indicato, ad esempio, in Figura 43. Un esempio di regolamentazione premiale è attuato nelle province autonome di Trento e Bolzano con il progetto *Casa Clima*. Con questa iniziativa le due province stanno incrementando il valore commerciale del nuovo parco edilizio incentivando il raggiungimento degli indici più elevati con riduzioni fiscali o altri vantaggi nella regolamentazione comunale. La certificazione avviene secondo la scala riportata nella Figura 44. L'etichetta Casa Clima è concessa solo agli edifici che raggiungano l'indice B di 50 kWh/m².anno.

L'etichetta A corrisponde a 30 kWh/m².anno e l'etichetta Casa Clima Oro a 10 kWh/m².anno.

A valori così bassi dei fabbisogni energetici corrispondono edifici di pregio caratterizzati da bassi consumi energetici. Le province di Trento e Bolzano premiano ogni anno il miglior progetto Casa Clima ed il valore immobiliare degli edifici in classe A o A+ (cioè Casa Clima Oro) sono notevolmente più elevati degli edifici con prestazioni inferiori.

Il raggiungimento dei 30 o dei 10 kWh/m².anno non è assolutamente agevole. Occorre prestare molta attenzione ai particolari costruttivi e occorre ridurre ogni tipologia di ponte termico. Ad esempio la scelta dei cassonetti per le finestre deve ridurre al minimo le infiltrazioni di aria esterna, come riportato in Figura 45.

La ventilazione controllata è spesso integrata con un impianto di recupero geotermico. Il risparmio di energia è dell'ordine di 0,5-1,5 kWh/(m².anno). In ogni caso l'aria di ventilazione ripresa dall'esterno è preriscaldata dall'aria di espulsione mediante uno scambiatore di calore.

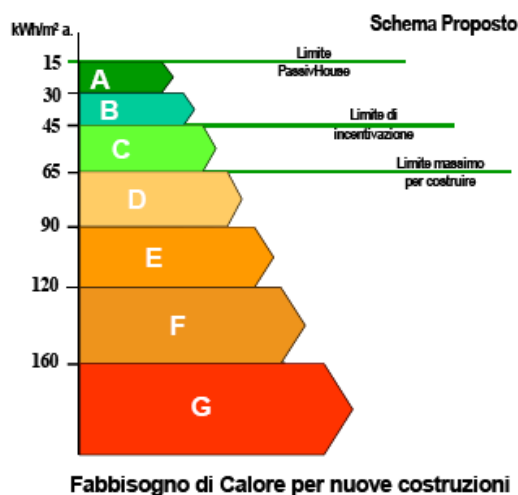


Figura 43: Esempio di regolamentazione premiale per la certificazione energetica

L'edificio *Casa Clima* ha scarsissime perdite di aria interna e quindi anche scarse infiltrazioni di aria esterna. Questa qualità è testata mediante il blower door test, cioè mediante una soffiante che raggiunge il normale funzionamento solo le perdite d'aria attraverso la porta d'ingresso, sono inferiori a un limite molto basso.

Sono preferiti generatori di calore non convenzionali quali quelli funzionanti con pellets (cioè con trucioli di legno compressi) a pompa di calore e con integrazione solare. Si osservi che il valore di 30 o di 10 kWh/m².anno di consumi energetici sono davvero bassi e pertanto questi obiettivi richiedono soluzioni tipiche dell'edilizia bioclimatica (vedasi più avanti la trattazione dettagliata). Occorre utilizzare pareti molto isolate, coperture ben coibentate a cappotto e finestre con più vetri camera.

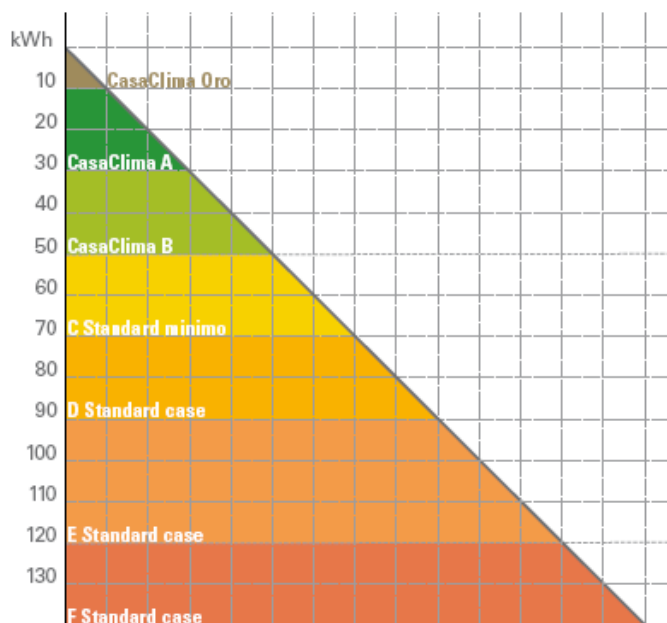


Figura 44: Scala di valutazione per Casa Clima

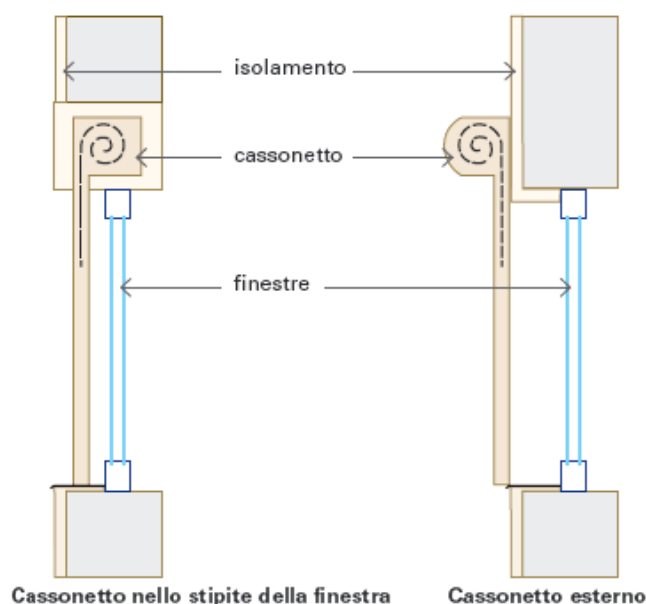


Figura 45: Selezione dei cassonetti per le finestre

Ogni dettaglio costruttivo deve essere studiato con attenzione e si può affermare con certezza che tutta la progettazione architettonica è asservita alla riduzione dei consumi energetici.

2.7 CERTIFICAZIONE ENERGETICA – LINEE GUIDA NAZIONALI

Il D.M. 06/09 reca indicazioni sulle procedure da seguire per la certificazione energetica in ambito nazionale. Le regioni o le province autonome che hanno deliberato autonomamente (clausola di cedevolezza) debbono attuare un riavvicinamento alle norme nazionali.

2.7.1 IL SISTEMA EDIFICIO - IMPIANTO

La certificazione energetica richiede il calcolo dell'energia primaria annua rapportata alla superficie dell'edificio [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{anno})$]. Si ricordi che l'energia primaria è riferita alla domanda di energia a monte degli impianti, prima delle trasformazioni operate nelle varie sezioni impiantistiche, vedi figura. L'energia primaria relativa alla climatizzazione di un edificio è calcolata con un bilancio termico riferito all'involucro edilizio. Questo bilancio termico è collegato ad un più generale bilancio energetico dell'edificio che contempla anche gli altri usi finali dell'energia. Sulla base della valutazione dei rendimenti dei sistemi impiantistici, si risale alla domanda di energia primaria, a monte delle conversioni e delle varie operazioni operate da- gli impianti.

Si è già detto che i calcoli di bilancio sono semplificati, sia su base stagionale che mensile. La norma europea EN ISO 13790:2008 *"Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling"*, attualmente in vigore e ripresa nelle norme UNI TS11300 Parte 1° e 2°, e nelle norme analoghe che l'hanno preceduta. Il metodo consente di tener conto delle variazioni temporali delle temperature interna ed esterna, dell'inerzia termica delle masse costituenti l'edificio e del regime di funzionamento dell'impianto (attenuazioni, intermittenza, interruzioni). Per la valutazione delle prestazioni energetiche estive dell'edificio la normativa italiana prevede, in alternativa al calcolo del fabbisogno energetico per climatizzazione, il calcolo di alcuni parametri caratterizzanti l'involucro che deve essere fatto secondo la norma UNI EN ISO 13786:2008. In ogni caso la normativa consente e consiglia l'uso di metodi di calcolo più dettagliati qualora si disponga dei dati climatici necessari, ovvero su base oraria.

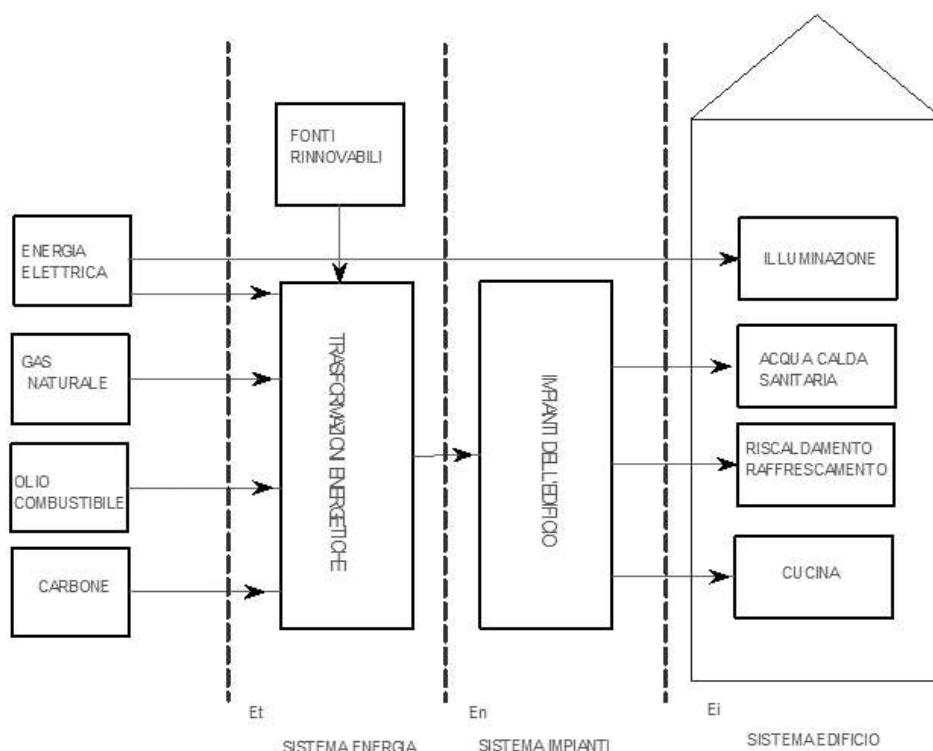


Figura 46: Sistema edificio-impianto

Quest'ultima possibilità è richiesta dal DM 59/09 per edifici aventi volumetria superiore a 10.000 m³ con modelli che tengano conto dell'influenza dei fenomeni dinamici del sistema.

La UNI EN ISO 13790: 2008 richiede le seguenti fasi di verifica:

1. comparazione delle prestazioni energetiche di diverse soluzioni progettuali per uno stesso edificio;
2. descrizione delle prestazioni energetiche di un edificio esistente;
3. valutazione dell'effetto dei possibili interventi su di un edificio esistente finalizzati al risparmio energetico (calcolando la domanda di energia con e senza l'intervento in oggetto);
4. previsione dei futuri fabbisogni energetici su vasta scala (anche nazionale o sopranazionale), basandosi sul calcolo della domanda di energia di edifici rappresentativi del parco edilizio presente ed estendendo i risultati con metodi statistici,
5. miglioramento trasparenza negli atti di compravendita nel caso di edifici esistenti, grazie alle informazioni sulla delle informazioni sulla domanda di energia dell'edificio.

2.7.2 BILANCIO ENERGETICO

Bilancio energetico orario

Si è già detto che l'edificio è un sistema termodinamico sul quale è possibile effettuare²⁷ un bilancio di potenza dato dall'equazione seguente (ogni termine è considerato positivo se entrante nell'edificio e negativo se uscente):

$$\dot{Q}_{nd} + \dot{Q}_{sol} + \dot{Q}_{int} + \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_{ve} = C \frac{dt}{d\tau}$$

Ove si ha il simbolismo:

- $\dot{Q}_{nd}$ *potenza fornita all'ambiente (net delivered) dall'impianto (cioè il carico termico), W;*
- $\dot{Q}_{sol}$ *potenza fornita dalla radiazione solare, W;*
- $\dot{Q}_{int}$ *potenza interna dell'edificio dovuta alla presenza di persone (affollamento), lampade, macchinari,..., W;*
- $\dot{Q}_{tr}$ *potenza termica per trasmissione attraverso le pareti esterne dell'edificio, W;*
- $\dot{Q}_{ve}$ *potenza termica di ventilazione, W;*
- C *la capacità termica dell'edificio $C = \sum m_i c_i$, J/K;*
- τ *tempo, s.*

Note le temperature interna, t_i ²⁸, ed esterna, t_e , è possibile calcolare ciascun termine della precedente equazione. Assumendo un intervallo di tempo sufficientemente piccolo da considerare al suo interno condizioni stazionarie, utilizzando le espressioni già viste per la trasmittanza termica e per il flusso globale trasmesso, si può scrivere la precedente equazione nella forma:

²⁷ Si osservi che ai fini del carico termico si effettua un bilancio di potenze perché queste sono utilizzate per la progettazione impiantistica. In questa sede ci interessiamo invece di bilanciare di energia. Pertanto le equazioni sopra scritte si intendono come bilanci riferiti ad un intervallo di tempo unitario.

²⁸ E' opportuno osservare che ai fini della trasmissione del calore il coefficiente limite interno tiene conto sia delle perdite convettive che radiative e quindi ci si riferisce alla temperatura operativa dell'aria mentre ai fini delle perdite per ventilazione ci si riferisce alla temperatura a bulbo secco dell'aria interna. In realtà la UNI Ts11300 Parte 1° definisce come **temperatura interna** la media aritmetica fra la temperatura media radiante al centro dell'ambiente e la temperatura a bulbo secco dell'aria.

$$\dot{Q}_{nd} = \underbrace{n\rho V c_{pa} (t_i - t_e)}_{\text{Potenza per ventilazione}} + \sum_i \underbrace{U_i S_i (t_i - t_e)}_{\text{Potenza per trasmissione}} + \sum_j \underbrace{\psi L_j (t_i - t_e)}_{\text{Potenza per ponti termici}} - \dot{Q}_{int} - \dot{Q}_{sol} + \underbrace{C \frac{dt}{d\tau}}_{\text{Potenza accumulata}}$$

ove la portata di ventilazione è espressa, come solito, in numero di ricambi orari, nV .
Si definisce rendimento globale (Vedi riferimenti alla Legge 10/91) il prodotto:

$$\eta_g = \eta_p \eta_d \eta_c \eta_r$$

Ove si hanno:

- η_p *rendimento di produzione del generatore di calore,*
- η_d *rendimento di distribuzione,*
- η_c *rendimento di cessione dei terminali,*
- η_r *rendimento di regolazione.*

L'energia chimica dovuta alla combustione del combustibile utilizzato in caldaia è data dal rapporto fra l'energia fornita dall'impianto all'edificio $\dot{Q}_{nd}$ e il rendimento globale dell'impianto di climatizzazione η_g :

$$dE = \frac{\dot{Q}_{nd}}{\eta_g} d\tau = \frac{\dot{Q}_{tr} - \dot{Q}_{sol} - \dot{Q}_{int} + Q_{ve} + C \frac{dt}{d\tau}}{\eta_g} d\tau$$

La precedente equazione va risolta per ogni passo temporale $d\tau$ scelto per tutte le zone termiche dell'edificio. I dati climatici relativi al sito spesso non sono disponibili in modo così dettagliato come la precedente equazione vorrebbe.

La UNI 10349:1994 riporta i dati climatici per i soli capoluoghi di provincia italiani in modo sintetico e cioè i valori medi mensili dell'irradiazione solare, della temperatura esterna e degli altri dati climatici. In letteratura sono disponibili dati più definiti ma per alcune località importanti che in Italia si riducono ad una decina di siti.

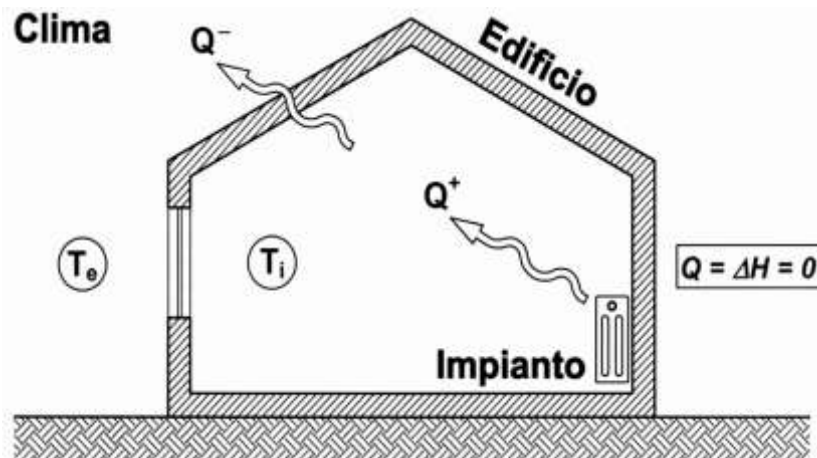


Figura 47: Bilancio energetico di un edificio

Nasce quindi evidente la difficoltà di applicare le precedenti equazioni ai casi correnti nella progettazione. I codici di calcolo avanzati (DOE-2, Energy-Plus, NBLSD, ...) hanno a corredo un data base di siti internazionali importanti ai quali ci si può riferire come località di riferimento, ad esempio per la Sicilia è presente la località di Sigonella per la presenza di un aeroporto militare utilizzato come base NATO.

Bilancio Energetico mensile

Per i calcoli usuali di progettazione impiantistica si preferisce utilizzare un metodo più semplificato di quello orario, tale che possa utilizzare i data base indicati dalla normativa italiana.

Pertanto si preferisce far ricorso a metodi di calcolo con i quali si prende in esame l'intero edificio o ad una zona di esso (zona termica), di dimensioni non inferiori al vano, omogenea per temperatura interna e condizioni al contorno e servita da uno stesso impianto. Il calcolo si riferisce ad un periodo mensile o stagionale.

Le principali ipotesi semplificative, su cui sono basati questi metodi, sono le seguenti:

- *-stazionarietà degli scambi termici all'interno del periodo di calcolo, questa ipotesi consente di assumere valori costanti delle temperature (come già detto per il carico di picco ci si riferisce ai valori medi nel periodo), e di tener conto in modo semplificato degli effetti delle variazioni di energia interna delle masse,*
- *-monodimensionalità dei flussi termici attraverso gli elementi di involucro edilizio, con trattamento semplificato dei ponti termici,*
- *-assunzione dei valori medi stagionali o mensili delle grandezze climatiche,*
- *-valutazione semplificata dei contributi dei guadagni termici interni e di origine solare.*
- *Le UNI TS11300 indicano un calcolo mensile per cui le voci di bilancio energetico dell'edificio:*

- $\dot{Q}_{is}$ dispersioni termiche, W

- $\dot{Q}_{gn}$ guadagni termici, W.

vengono calcolati in termini di energia mensile (espressi in MJ per mese).

La richiesta di energia si calcola diversamente a seconda della stagione:

Riscaldamento

$$Q_{H,nd} = Q_{is} - \eta_{H,gn} Q_{gn}$$

ove:

- $Q_{H,nd}$ l'energia richiesta per il riscaldamento invernale, MJ.

Raffrescamento

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,is} Q_{is}$$

Queste equazioni non fanno riferimento direttamente all'accumulo termico $C \Delta t$ ma utilizzano i coefficienti di utilizzazione degli apporti termici $\eta_{H,gn}$ e delle dispersioni termiche $\eta_{C,is}$ che tengono conto dei fenomeni di accumulo e restituzione dell'energia nelle strutture murarie.

Questi coefficienti sono proporzionali alla capacità termica, C, delle zone termiche e ai guadagni gratuiti (solare ed interno) mentre sono inversamente proporzionali al coefficiente globale di scambio termico, $H=US$, e quindi alla rapidità della cessione di energia all'esterno mediante dispersioni.

Nel primo caso il coefficiente di utilizzazione, $\eta_{H,gn}$, esprime la capacità dell'edificio di utilizzare il calore accumulato nelle masse per contribuire alla copertura del carico termico.

L'inerzia termica delle masse contribuisce a diminuire il fabbisogno di energia dell'ambiente confinato in quanto in Inverno riduce la possibilità che i guadagni termici, in particolare quelli solari (che intervengono nelle ore centrali più calde), elevino la t_i oltre il valore di set point

(surriscaldamento), consentendo inoltre di utilizzare successivamente l'energia termica accumulata nelle ore più fredde, quando maggiori sono le dispersioni.

Quando si verifica il surriscaldamento la conseguente dispersione termica addizionale è conteggiata attraverso il fattore di utilizzazione che riduce i guadagni stessi.

Nel periodo estivo invece la dispersione dell'energia accumulata nelle masse, che può avvenire nelle ore notturne più fredde, ed il conseguente raffreddamento delle masse stesse, può contribuire a contenere i carichi da raffreddamento nelle ore più calde. Inoltre nelle ore in cui le superfici esterne sono esposte alla radiazione solare l'inerzia termica degli elementi di involucro ritarda la trasmissione di calore dall'esterno all'interno.

Un calcolo del carico dell'impianto termico, $\dot{Q}_{nd}$, eseguito in base alla "temperatura esterna di progetto" (t_e) e senza tener conto dei guadagni termici, cioè del carico di picco, è utilizzabile per un primo dimensionamento del generatore di calore, tenendo conto anche in questo caso del rendimento totale dell'impianto. Il corretto dimensionamento consente di ottenere elevati valori del rendimento globale medio stagionale dell'impianto, sul quale esistono limiti di legge:

$$\dot{Q}_{H,nd} = \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_{ve} = \sum_i \underbrace{U_i S_i (t_i - t_e)}_{\text{Potenza per trasmissione}} + \sum_j \underbrace{\psi L_j (t_i - t_e)}_{\text{Potenza per ponti termici}} + \underbrace{n \rho V c_{pa} (t_i - t_e)}_{\text{Potenza per ventilazione}}$$

e la temperatura esterna di progetto è indicata dal DPR 1052/1977 per le varie località italiane di riferimento. Essa è la temperatura che si è mantenuta costante per almeno cinque giorni consecutivi nell'ultimo ventennio nella località considerata. Questa caratteristica è importante perché solo dopo un periodo adeguato (cinque giorni) si può ritenere che la temperatura esterna abbia interessato anche la temperatura interna degli ambienti²⁹.

2.7.3 RIEPILOGO SULLA CERTIFICAZIONE ENERGETICA

Secondo quanto indicato dal DM 06/09 (Linee Guida per la certificazione energetica degli edifici) l'**indice di prestazione energetica globale**, EP_{gl} , è definito dalla relazione:

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + EP_e + EP_{ill}$$

con il seguente simbolismo:

- EP_i indice di prestazione energetica invernale, kWh/(m².anno);
- EP_e indice di prestazione energetica estivo, kWh/(m².anno);
- EP_{acs} indice di prestazione energetica per produzione di acqua calda sanitaria, kWh/(m².anno);
- EP_{ill} indice di prestazione energetica per illuminazione artificiale, kWh/(m².anno).

Nel caso di edifici industriale gli indici sono riferiti al volume e cioè kWh/(m³.anno).

L'indice EP_{gl} viene utilizzato per definire una classe energetica per l'edificio, come detto a proposito della Certificazione Energetica. Per edifici nuovi o che subiscono lavori di ristrutturazione con superficie utile > 1000 m² o ampliamenti di volume superiori al 20% occorre verificare che l'indice di prestazione invernale, EP_i , e quello estivo, $EP_{e,inv}$ ³⁰, siano inferiori ai limiti indicati per zona climatica e per rapporto S/V. Per interventi di ristrutturazione con superficie < 1000 m² allora si devono verificare i valori delle trasmittanze delle pareti opache, dei pavimenti e soffitti e delle finestre in funzione dei rispettivi valori limiti che, per data zona climatica, sono aggiornati ogni due anni.

²⁹ Si ricordi quanto detto a proposito del regime periodico stabilizzato.

³⁰ Si osservi che $EP_{e,inv}$ è il rapporto fra il fabbisogno energetico di raffrescamento (che dipende dal solo involucro dell'edificio e non dall'impianto) e la superficie calpestabile. La sua unità di misura è kWh/(m²-anno).

Per edifici residenziali esistenti con superficie utile fino a 1000 m² è possibile valutare le prestazioni energetiche estive, anziché mediante il calcolo di (E_{Pe}), mediante il calcolo di indici qualitativi quali lo *sfasamento* ed il fattore di *attenuazione*, il primo è definito come il ritardo temporale tra il picco del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il picco della temperatura interna, (espresso in ore), il secondo come il rapporto (adimensionale) tra la trasmittanza termica dinamica e la trasmittanza termica stazionaria.

Il riferimento per il calcolo di tali indici è la norma UNI EN ISO 13786:2008. Nel caso i due indici non rientrino nella stessa classe si considera solo lo sfasamento. L'indicazione della qualità termica estiva è poi facoltativa nel caso di unità immobiliari con superficie minore di 200 m².

Per tutti gli edifici, nel caso di nuova installazione/ristrutturazione degli impianti termici o sola sostituzione dei generatori di calore, va calcolato il rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico e va verificato che il suo valore sia superiore al valore limite (stabilito al punto 5 dell'allegato C del D.Lgs 192/05).

Se la potenza del generatore è superiore ai 100 kW va eseguita anche una diagnosi energetica del sistema edificio-impianto che individui i possibili interventi di razionalizzazione.

La certificazione energetica (ACE) viene eseguita da soggetti riconosciuti su richiesta del costruttore o del proprietario o del detentore dell'immobile, ha una validità massima di 10 anni e va in ogni caso aggiornata ogniqualvolta venga eseguito un intervento sul sistema edificio-impianto che ne modifichi le prestazioni.

È prevista anche un'attestazione di *qualificazione energetica* (AQE), che può essere redatta da un tecnico abilitato non necessariamente estraneo alla proprietà, alla realizzazione od alla progettazione dell'immobile. Essa è obbligatoria nel caso di nuova costruzione o ristrutturazione totale ma è diversa dall'attestato di certificazione energetica, che deve essere redatto da soggetti al di sopra delle parti, essa può solo proporre una classe di efficienza energetica per l'edificio in questione.

La normativa prevede tre diversi tipi di valutazione energetica, classificati come segue.

Tipo di valutazione	Dati di ingresso			Scopo della valutazione
	Uso	Clima	Edificio	
di Progetto (Design rating)	Standard	Standard	Progettato	Permesso di costruire Certificazione o Qualificazione energetica del progetto
Standard (Asset rating)	Standard	Standard	Realizzato	Certificazione o Qualificazione Energetica
Adattata all'utenza (Tailored rating)	In funzione dello scopo		Realizzato	Ottimizzazione, Validazione, Diagnosi e programmazione di interventi di riqualificazione

Tabella 16: Tipologia di valutazione energetica

Le linee guida prevedono solo i primi due tipi di valutazione dei tre sopra elencati:

- il metodo calcolato di progetto, basato sui dati di progetto e da impiegarsi nel caso di edifici di nuova costruzione o totalmente ristrutturati, indipendentemente dalle loro dimensioni,
- il metodo di calcolo da rilievo su edificio o standard, che riguarda gli edifici esistenti e si avvale di dati ricavati da indagini sull'edificio, quali:
 - rilievi con uso di misure strumentali,
 - analogia con altri edifici (anche con utilizzo di banche dati),
 - sulla base dei principali dati climatici, tipologici, geometrici ed impiantistici.

Il primo metodo è descritto dalla normativa UNI TS11300 parte 1° e Parte 2° (per il calcolo dell'E_{Pi} e dell'E_{Pac}). La Parte 3° è relativa al raffrescamento estivo e la Parte 4° all'uso di fonti di energia rinnovabili.

I metodi di cui al punto 2) possono avere vari gradi di approfondimento. Nel caso i), ci si riferisce alle semplificazioni contenute nelle stesse due norme ora citate e riguardanti gli edifici esistenti senza limiti dimensionali: metodi tabellari che forniscono dati descrittivi dell'edificio (trasmittanze) e degli impianti in funzione della tipologia e dell'anno di costruzione (Appendici A, B e C di UNI/TS11300-1), sempre per il calcolo di EP_i ed EP_{acs} .

La metodologia di cui al punto 2ii) è applicabile agli edifici residenziali esistenti con superficie utile fino a 3000 m², consente il calcolo degli indici di prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale (EP_i) e per la produzione dell'acqua calda sanitaria (EP_{acs}), mediante il metodo di calcolo *DOCET*, predisposto da CNR ed ENEA, sulla base delle norme tecniche di cui al punto 1.

La metodologia di cui al punto 2iii), sempre per il calcolo dell'indice di prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale (EP_i), utilizza come riferimento il metodo semplificato di cui all'allegato 2 delle Linee Guida (qui riportato in Appendice n. 1), mentre per il calcolo dell'indice energetico per la produzione dell'acqua calda sanitaria (EP_{acs}) alle norme UNI/TS11300 per la parte semplificata relativa agli edifici esistenti. Questa procedura è applicabile agli edifici residenziali esistenti con superficie utile fino a 1000 m².

2.7.4 APPLICAZIONE DELLA UNI TS11200 PARTE 1° E PARTE 2°

Queste norme riprendono la norma europea UNI EN ISO 13790:2008. La Parte 1° consente di calcolare i fabbisogni di energia termica per riscaldamento e di raffrescamento su base mensile.

La Parte 2° consente di calcolare il fabbisogno di energia primaria (EP) del sistema edificio – impianto partendo dai fabbisogni di energia termica per il riscaldamento invernale e per l'acqua calda sanitaria.

La UNI TS11300 Parte 3°, della quale si parlerà nel Volume 2°, consente di calcolare l'energia primaria (EP) per il raffrescamento estivo. Si osserva che questa norma prende in considerazione solamente il raffrescamento e non il condizionamento, ossia non sono effettuati bilanci per l'umidità interna del sistema edificio.

Il bilancio di energia termica dello spazio confinato (climatizzato) è dato, per il riscaldamento, dalle relazioni:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} (Q_{int} + Q_{sol})$$

Ove ogni termine è espresso in MJ. Per il raffrescamento si ha:

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

Il simbolismo è il seguente:

- $Q_{H,nd}$ *fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento, MJ;*
- $Q_{C,nd}$ *fabbisogno ideale di energia termica per raffrescamento, MJ;*
- $Q_{H,ht}$ *scambio termico totale fra ambiente ed esterno per il riscaldamento, MJ;*
- $Q_{C,ht}$ *scambio per trasmissione fra ambiente ed esterno per il raffrescamento, MJ;*
- $Q_{H,tr}$ *scambio per trasmissione fra ambiente ed esterno per il riscaldamento, MJ;*
- $Q_{C,tr}$ *scambio per trasmissione fra ambiente ed esterno per il raffrescamento, MJ;*
- $Q_{H,ve}$ *scambio per ventilazione fra ambiente ed esterno per il riscaldamento, MJ;*
- $Q_{C,ve}$ *scambio per ventilazione fra ambiente ed esterno per il raffrescamento, MJ;*
- Q_{gn} *guadagni termici totali, MJ;*
- Q_{int} *guadagni termici interni, MJ;*
- Q_{sol} *guadagni termici solari, MJ;*

- $\eta_{H,gn}$ *fattore di utilizzazione degli apporti termici*;
- $\eta_{C,ls}$ *fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche*.

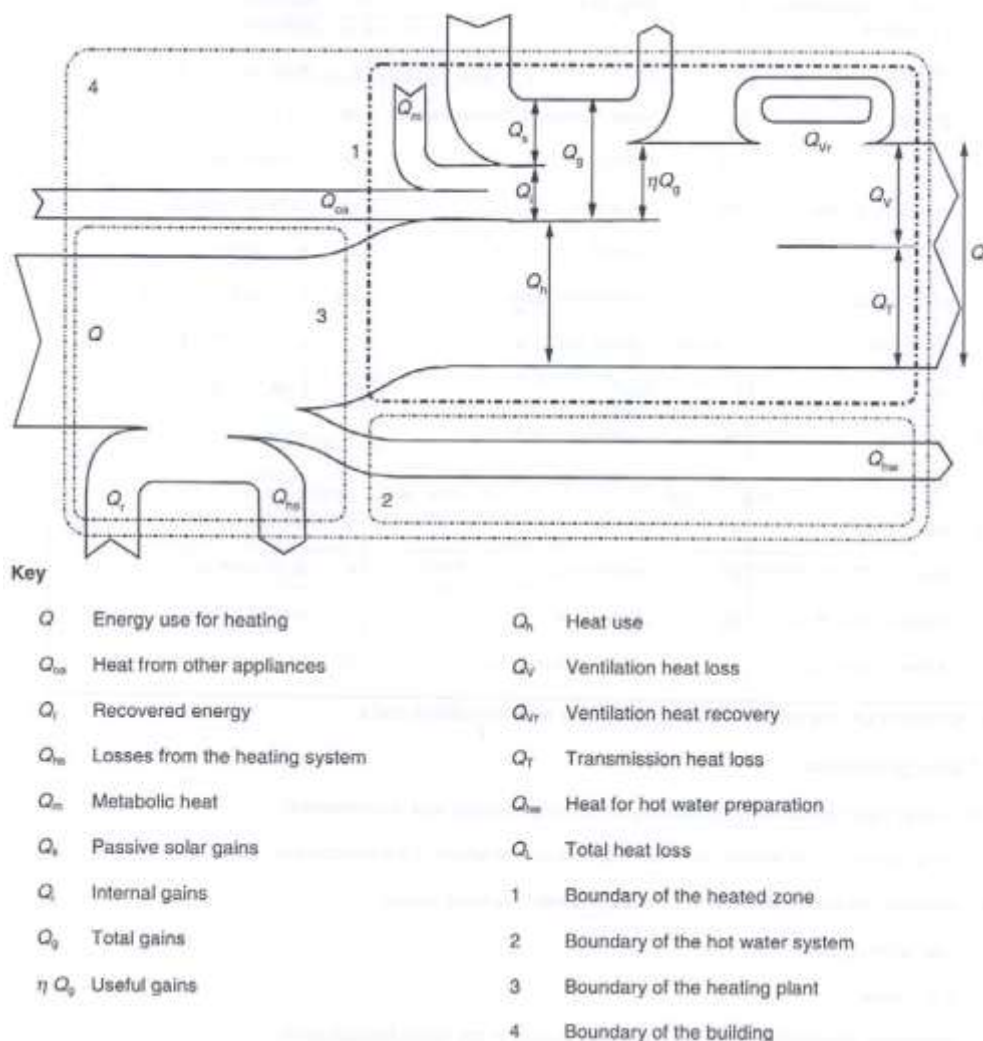


Figura 48: Flussi energetici per la UNI TS11300 parte 1 e 2.

Dopo la suddivisione dell'edificio in zone termiche si calcolano, per ciascun mese, i termini delle precedenti equazioni per il riscaldamento e per il raffrescamento. Lo schema di calcolo è sintetizzato nella seguente figura dove sono indicati i flussi energetici rispetto all'edificio.

Temperatura interna di progetto invernale

Per il riscaldamento, ad eccezione delle categorie E6 (palestre e assimilabili) ed E8 (edifici industriali) si assume la temperatura di **20 °C**³¹. Si assume **28 °C** per la categoria E6(1), piscine saune e assimilabili, mentre per E6(2), palestre, ed E8, edifici industriali, si assume una temperatura di **18 °C**. La temperatura degli edifici vicini si assume pari a **20 °C** se riscaldati altrimenti si calcola con la relazione:

$$t_u = \frac{\Phi_{gn} + t_i H_{iu} + t_e H_{ue}}{H_{ue} + H_{iu}}$$

³¹ Si ricordi che viene concessa una tolleranza di ± 2 °C per il controllo dell'umidità interna al fine di evitare la condensa superficiale. Vedi capitolo precedente. Si ricorda che 20 °C è temperatura di confort invernale con metabolismo di 1 Met e resistenza del vestiario di 1,5 Clo.

ove si ha il simbolismo:

- Φ_{gn} *flusso termico generato all'interno dell'ambiente non riscaldato, W;*
- t_e *temperatura esterna media mensile, °C;*
- t_i *temperatura interna di progetto dell'ambiente riscaldato, °C;*
- H_{iu} *coefficiente di scambio termico fra ambiente riscaldato e quello non riscaldato, W/K;*
- H_{ue} *coefficiente di scambio termico fra l'ambiente riscaldato e ambiente esterno, W/K;*

Temperatura interna di progetto estiva

Per le categorie E6(1) si assume la temperatura di **28 °C**, per la categoria E6(2) si assume **24 °C** mentre per tutte le altre categorie e per gli edifici adiacenti si assume **26 °C**.

Durata della stagione di riscaldamento

La norma prevede una nuova durata per la stagione di riscaldamento per la zona climatica A mentre si confermano le altre per tutte le zone climatiche rimanenti. Si ha la seguente tabella riepilogativa.

Zona climatica	Inizio	Fine
A	1° dicembre	15 marzo
B	1° dicembre	31 marzo
C	15 novembre	31 marzo
D	1° novembre	15 aprile
E	15 ottobre	15 aprile
F	5 ottobre	22 aprile

Tabella 17: Durata della stagione di riscaldamento

Nel caso di verifica energetica occorre allora calcolare il periodo di riscaldamento fino a quando la temperatura esterna assume il valore:

$$t_e = t_i - \frac{Q_{gn}}{H \tau_{day}}$$

con:

- t_e *temperatura esterna media giornaliera, °C;*
- t_i *temperatura interna di set point per il riscaldamento, °C;*
- Q_{gn} *apporti energetici solari e interni medi giornalieri, J;*
- H *coefficiente di scambio termico dell'edificio dato dalla somma dei coefficienti di scambio termico per trasmissione e ventilazione, W/K;*
- τ_{day} *la durata del giorno in secondi (86400 s).*

Per il raffrescamento estivo la temperatura esterna non è inferiore al valore sopra scritto.

Calcolo degli scambi termici per trasmissione

Questi contributi si calcolano mediante la relazione:

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} (t_i - t_e) \tau + \left(\sum_k F_{r,k} \Phi_{r,k} \right) \tau$$

Ove si ha il simbolismo:

- $H_{tr,adj}$ *coefficiente di trasmissione termica della zona corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno – esterno. In questo modo si tiene conto della*

temperatura dell'ambiente limitrofo che non coincide con quella dell'ambiente esterno, W/K;

- t_i *temperatura di set point interna della zona considerata, °C;*
- t_e *temperatura esterna media mensile, °C;*
- $F_{r,k}$ *fattore di forma fra il componente edilizio k.mo e la volta celeste;*
- $\Phi_{r,k}$ *flusso dovuta alla radiazione infrarossa verso la volta celeste del componente k.mo, MJ.*

Il coefficiente globale di scambio termico è dato dalla relazione:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$$

ove:

- H_D *coefficiente di scambio termico per trasmissione verso l'ambiente esterno, W/K;*
- H_g *coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno, W/K,*
- H_U *coefficiente di scambio termico per trasmissione verso gli ambienti non climatizzati, W/K;*
- H_A *coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone climatizzate a temperatura diversa, W/K.*

Ciascun coefficiente di scambio è dato da una relazione del tipo:

$$H_x = b_{tr,x} \left(\sum_j U_i A_i + \sum_k \psi_{L,k} L_k \right)$$

ove è:

- A_i *area dell'elemento, m²;*
- U_i *trasmittanza termica dell'elemento, W/(m²K);*
- L_k *lunghezza del ponte termico lineare, m;*
- $\psi_{L,k}$ *trasmittanza lineare del k.mo ponte termico, W/(mK);*
- $b_{tr,x}$ *fattore di aggiustamento <>1 quando la temperatura dell'ambiente confinato è diversa da quella esterna.*

Per la ventilazione l'energia scambiata vale:

$$Q_{H,ve} = H_{ve,adj} (t_i - t_e) \tau$$

Con analogo simbolismo. Il coefficiente globale di scambio per ventilazione vale:

$$H_{ve,adj} = \rho_a c_{p,a} \left(\sum_k b_{ve,k} \dot{V}_{ve,k,mn} \right)$$

ove:

- $\rho_a c_{p,a}$ *capacità termica dell'aria, 1200 J/(m³K);*
- $\dot{V}_{ve,k,mn}$ *portata volumetrica dell'aria, m³/s;*
- $b_{ve,k}$ *fattore di correzione della temperatura per il flusso dell'aria.*

La portata d'aria si calcola imponendola pari a 0,3 Vol/h ovvero 15 m³/h per persona.

La norma fornisce tutte le tabelle dei fattori correttivi e tutte le metodologie per il calcolo di ciascuna componente energetica (apporti gratuiti interni, apporti solari, gestione delle schermature esterne, scambi con il terreno, coefficienti di utilizzo, costante di tempo dell'edificio, ...).

Ad essa si rimanda per una completa trattazione.

2.7.5 CALCOLO DELL'ENERGIA PRIMARIA (EP) – METODO SEMPLIFICATO

Il calcolo dell'energia primaria procede secondo le indicazioni viste in precedenza. Vi è tuttavia la possibilità di potere effettuare un calcolo semplificato, ai sensi dell'allegato 2 del D.M. 26/06/2009 sulle *Linee Guida Nazionali*.

Questo metodo semplificato vale per superficie utile inferiore a 1000 m², Vale la relazione, per edifici residenziali:

$$EPi = \frac{\frac{Q_h}{A_{pav}}}{\eta_g}$$

espressa in kWh/(m².anno) e:

- Q_h fabbisogno di energia termica per riscaldamento, kWh;
- A_{pav} superficie utile del pavimento, m²;
- η_g rendimento globale di impianto medio stagionale.

Per edifici non residenziali l'indice di prestazione energetica si riferisce al volume lordo riscaldato anziché alla superficie utile:

$$EPi = \frac{\frac{Q_h}{V_{lordo}}}{\eta_g}$$

e quindi l'unità di misura diviene kWh/(m³.anno).

Il fabbisogno di energia termica si calcola con la relazione:

$$Q_h = 0,024 \cdot GG \cdot (H_T + H_V) - f_x (Q_s + Q_i)$$

ove si ha:

- GG Gradi Giorno del sito, (K.gg);
- H_T coefficiente di scambio termico per trasmissione, W/K, $H_T = \sum S_i \cdot U_i \cdot b_{tr,i}$
- H_V coefficiente di scambio termico per ventilazione, W/K, $H_V = 0,34 \cdot n \cdot V_{netto}$ ove V_{netto} è pari a 0,7 V lordo;
- Q_s apporti solari gratuiti attraverso i componenti trasparenti, kWh, $0,2 \sum I_{sol,i} S_{aerr,i}$ con $I_{sol,i}$ l'irraggiamento solare sul generico serramento di superficie $S_{serr,i}$;
- Q_i apporti gratuiti interni, kWh, $Q_i = (\Phi_{int} \cdot A_{pav} \cdot h) / 1000$ con Φ_{int} pari a 4 W/m² ed h numero di ore della stagione di riscaldamento..

Il rendimento globale di impianto η_g è già stato definito in precedenza.

2.8 NUOVE NORME UNI TS 11300 PARTE 1 E 2 – 02-10-2014

Sono state pubblicate dall'UNI, Ente Italiano di Normazione, le nuove norme UNI/TS 11300 sulle prestazioni energetiche degli edifici.

La **UNI/TS 11300-1:2014** dal titolo "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale" fornisce dati e metodi per la determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la **climatizzazione estiva ed invernale**.

La specifica tecnica definisce le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008 con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per **umidificazione e deumidificazione**.

È rivolta a tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008: calcolo di progetto (design rating), **valutazione energetica di edifici** attraverso il calcolo in condizioni standard (*asset rating*) o in particolari condizioni climatiche e di esercizio (tailored rating).

La **UNI/TS 11300-2:2014** "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali" costituisce invece l'aggiornamento della UNI/TS 11300-2:2008.

La specifica tecnica fornisce dati e metodi di calcolo per la determinazione dei fabbisogni di energia termica utile per il servizio di produzione di **acqua calda sanitaria**, nonché di energia fornita e di energia primaria per i servizi di **climatizzazione invernale** e acqua calda sanitaria.

Fornisce, inoltre, il metodo di calcolo per la determinazione del fabbisogno di energia primaria per il servizio di **ventilazione** e le indicazioni e i dati nazionali per la determinazione dei fabbisogni di energia primaria per il servizio di **illuminazione** in accordo con la UNI EN 15193.

La specifica tecnica fornisce dati e metodi per il calcolo dei rendimenti e delle perdite dei sottosistemi di generazione alimentati con **combustibili fossili liquidi o gassosi**.

Si applica a sistemi di **nuova progettazione, ristrutturati o esistenti**: per il solo riscaldamento, misti o combinati per riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria, per sola produzione acqua calda per usi igienico-sanitari, per i sistemi di sola ventilazione, per i sistemi di ventilazione combinati alla climatizzazione invernale, per i sistemi di illuminazione negli edifici non residenziali.

La revisione della norma UNI/TS 11300-1 comporta numerose modifiche al metodo di calcolo della precedente versione, rispetto a tutti i contributi che determinano il fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale.

Le conseguenze delle modifiche riguardano i calcoli per il rispetto dei **D.Lgs. 192/2005** e **311/2006** e del **DPR 59/2009** e per la **certificazione energetica degli edifici di nuova costruzione ed esistenti** per tutte le Regioni che richiamano le norme UNI/TS 11300 per tali calcoli. Le modifiche principali riguardano:

- **Ponti termici e ψ_e** : i ponti termici si valutano solo attraverso i coefficienti lineici ψ_e . È cancellato l'utilizzo della maggiorazione % semplificata e l'utilizzo dell'abaco della norma UNI EN 14683. Le valutazioni dei coefficienti lineici devono essere fatte con calcolo agli elementi finiti o con atlanti dei ponti termici realizzati in accordo con la UNI EN ISO 14683. È possibile utilizzare metodi di calcolo manuale per edifici esistenti.
- **Trasmittanza termica U** : le caratteristiche dei materiali ed in particolare la conducibilità termica λ , devono essere opportunamente corretti per tener conto delle condizioni in cui si opera in accordo con la norma UNI EN ISO 10456. Per gli edifici esistenti è inoltre disponibile il rapporto tecnico **UNI/TR 11552**, anch'esso pubblicato il 2 ottobre 2014, che riporta un abaco di strutture opache verticali e orizzontali, con proprietà termo fisiche indicative.
- **Perdite per ventilazione**: La valutazione diventa molto più raffinata e vengono considerati in maniera più idonea gli impianti che gestiscono la ventilazione all'interno degli edifici.
- **Guadagni solari**: viene introdotta la modifica già presente nella procedura di calcolo della Regione Lombardia che valuta un solo fattore di riduzione per ombreggiatura esterno (il peggiorativo) tra l'aggetto verticale e orizzontale. Inoltre viene implementata la caratterizzazione della trasmittanza di energia solare totale

attraverso la parte vetrata (il fattore g) con una migliore definizione dei fattori di esposizione.

Sono presenti, infine, altre modifiche (per esempio la trattazione dei **locali non riscaldati**, la sottrazione di energia con l'extraflusso, la valutazione degli apporti interni latenti e la valutazione degli apporti solari sulle superfici opache).

2.9 CERTIFICAZIONE ENERGETICA NELLA REGIONE LOMBARDIA

Secondo il BURL 20/07/2007 le scale energetiche per le tre zone climatiche sono espresse nella seguente Tabella 18. Le zone climatiche sono individuate secondo i GG come segue:

- *zona E: Comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 2101 e non superiore a 3000;*
- *zona F1: Comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 3001 e non superiore a 3900;*
- *zona F2: Comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 3901 e non superiore a 4800.*

Classe	Edifici di classe E.1 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme		
	Zona E	Zona F1	Zona F2
A+	$EP_H < 14$	$EP_H < 20$	$EP_H < 25$
A	$14 \leq EP_H < 29$	$20 \leq EP_H < 39$	$25 \leq EP_H < 49$
B	$29 \leq EP_H < 58$	$39 \leq EP_H < 78$	$49 \leq EP_H < 98$
C	$58 \leq EP_H < 87$	$78 \leq EP_H < 118$	$98 \leq EP_H < 148$
D	$87 \leq EP_H < 116$	$118 \leq EP_H < 157$	$148 \leq EP_H < 198$
E	$116 \leq EP_H < 145$	$157 \leq EP_H < 197$	$198 \leq EP_H < 248$
F	$145 \leq EP_H < 175$	$197 \leq EP_H < 236$	$248 \leq EP_H < 298$
G	$EP_H \geq 175$	$EP_H \geq 236$	$EP_H \geq 298$

Tabella 18: Classi energetiche per la Lombardia per edifici E1

Per edifici non E1 si ha la seguente classificazione energetica, vedi Tabella 19.

Si osservi che due edifici caratterizzati dalla stessa classe energetica, ma situati in una diversa zona climatica, saranno caratterizzati da un consumo energetico (e quindi un costo di esercizio) differente.

Si osservi, inoltre, che a differenza della classificazione proposta dalle linee guida nazionali (DM 06/09) la classe degli edifici non dipende dal rapporto S/V ma solo dalla zona climatica. Il certificato energetico si completa con l'indicazione di interventi migliorativi secondo lo schema di Tabella 20.

Classe	Altri edifici		
	Zona E	Zona F1	Zona F2
A+	$EP_H < 3$	$EP_H < 4$	$EP_H < 5$
A	$3 \leq EP_H < 6$	$4 \leq EP_H < 7$	$5 \leq EP_H < 9$
B	$6 \leq EP_H < 11$	$7 \leq EP_H < 15$	$9 \leq EP_H < 19$
C	$11 \leq EP_H < 27$	$15 \leq EP_H < 37$	$19 \leq EP_H < 46$
D	$27 \leq EP_H < 43$	$37 \leq EP_H < 58$	$46 \leq EP_H < 74$
E	$43 \leq EP_H < 54$	$58 \leq EP_H < 73$	$74 \leq EP_H < 92$
F	$54 \leq EP_H < 65$	$73 \leq EP_H < 87$	$92 \leq EP_H < 110$
G	$EP_H \geq 65$	$EP_H \geq 87$	$EP_H \geq 110$

Tabella 19: Classi energetiche per la Lombardia per edifici non E1

Possibili interventi migliorativi del sistema edificio-impianto				
Sistema	Intervento	Priorità bassa	Priorità media	Priorità alta
Edificio	Coibentazione delle strutture opache verticali	☒	☐	☐
	Coibentazione della copertura	☒	☐	☐
	Coibentazione dei pavimenti - solai	☒	☐	☐
	Coibentazione delle chiusure trasparenti	☒	☐	☐
Impianto	Sostituzione generatore di calore	☒	☐	☐
	Adeguamento sistema distribuzione	☒	☐	☐
	Adeguamento sistema emissione	☒	☐	☐
	Adeguamento sistema regolazione	☒	☐	☐

Il Comune

Il Certificatore

Tabella 20: Interventi migliorativi nel certificato energetico della Lombardia

La targa energetica proposta è del tipo indicato in Figura 49.



Figura 49: Targa energetica proposta in Lombardia

2.10 CERTIFICAZIONE ENERGETICA SECONDO LE LINEE GUIDA NAZIONALI – DM 06-09

Nella definizione del sistema di classificazione nazionale il MSE³² ha, di fatto, individuato indici di riferimento o *benchmark* leggermente diversi da quelli proposti nella norma UNI EN 15217 per due motivazioni principali:

1. La difficoltà a dover reperire e/o definire per ogni categoria di edificio e destinazione d'uso gli indici di tipo R_s , cioè la media dei consumi degli edifici esistenti, differenziandoli per categoria, zona climatica, rapporto di forma ecc.;
2. Il considerare il sistema di classificazione previsto nella norma UNI EN 15217, indicazione europea, implicherebbe che il solo fatto di rispettare i limiti di conformità edilizia previsti dalla legislazione nazionale (vedi EP_{lim} previsto dal D.P.R. 02 aprile 2009 n. 59) porterebbe inevitabilmente gli edifici ad una classe energetica B diventando C per valori di $EP_i = EP_{lim}$, e questo per il MSE stimolerebbe poco il mercato e farebbe venir meno quel ruolo fondamentale

³² Ministero dello Sviluppo Economico, MSE

della certificazione energetica come propulsiva e di stimolo alla promozione del mercato dell'efficienza energetica.

Per queste motivazioni, il MSE si è avvalso di un unico indice di riferimento: il requisito minimo fissato dal D.P.R. 02 aprile 2009 n. 59 e dal D. Lgs n. 192/05 e s.m.i. a partire dal 1° gennaio 2010 per le nuove costruzioni $EP_{lim(2010)}$ quale limite di separazione tra le classi C e D (soglia di riferimento legislativo).

In merito alla rappresentazione delle prestazioni energetiche globali e parziali dell'edificio, il MSE ha ritenuto opportuno, per la massima efficacia comunicativa, affiancare a una rappresentazione grafica diretta delle predette prestazioni, un sistema di valutazione basato su classi. La scala delle classi energetiche per la climatizzazione invernale residenziale è allora data in Figura 50.

CLASSE	EP_i kWh/m ² anno
A_i+	$EP_i \leq 0,25 EP_{lim(2010)}$
A_i	$0,25 EP_{lim(2010)} \leq EP_i < 0,50 EP_{lim(2010)}$
B_i	$0,50 EP_{lim(2010)} \leq EP_i < 0,75 EP_{lim(2010)}$
C_i	$0,75 EP_{lim(2010)} \leq EP_i < 1,00 EP_{lim(2010)}$
D_i	$1,00 EP_{lim(2010)} \leq EP_i < 1,25 EP_{lim(2010)}$
E_i	$1,25 EP_{lim(2010)} \leq EP_i < 1,75 EP_{lim(2010)}$
F_i	$1,75 EP_{lim(2010)} \leq EP_i < 2,50 EP_{lim(2010)}$
G_i	$EP_i \geq 2,50 EP_{lim(2010)}$

Figura 50: Scala di classificazione nazionale

L'indicatore proposto è di tipo a cruscotto, come indicato in Figura 51. Va osservato che la classificazione proposta per le sette classi energetiche (da G alla A+) non sono dirette, come ad esempio avviene per la regione Lombardia, bensì dipendenti dall' $EP_{i,lim(2010)}$ e quindi dipendente dal rapporto S/V dell'edificio da classificare. Pertanto ogni edificio ha la propria scala di classificazione energetica. Ciò vuol dire, come ben s'intuisce, che due edifici che hanno la stessa classe energetica non hanno lo stesso indicatore di consumo.

RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLE PRESTAZIONI GLOBALE E PARZIALI EDIFICI DEL TERZIARIO



Figura 51: Indicatore a cruscotto della scala energetica nazionale

Si osserva ancora che edifici esistenti le linee Guida danno la possibilità al proprietario d'ottemperare agli obblighi di legge negli atti di compravendita dichiarando che l'edificio è di classe energetica **G** e che i costi di gestione energetica sono molto alti. Si tratta di un escamotage legale per evitare di predisporre il certificato energetico per edifici esistenti.

Esempio di classificazione energetica

Se un edificio ha un rapporto di forma $S/V=0,60$, è sito in zona climatica C con 2100 GG e la sua energia primaria calcolata è pari a $EP_i = 76 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{anno}$ allora $EP_{i\text{-lim.2010}} = 65 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{anno}$ e pertanto la scala di classificazione diviene quella di Figura 52 e l'edificio si classifica in classe D.

CLASSE	PRESTAZIONE EP
A+	$EP_i < 16,25 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$
A	$EP_i < 32,50 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$
B	$EP_i < 48,75 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$
C	$EP_i < 65,00 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$
D	$EP_i = 76 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno} < 81,25 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$
E	$EP_i < 113,75 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$
F	$EP_i < 162,50 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$
G	$EP_i \geq 162,50 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$

Figura 52: Esempio di applicazione della scala di classificazione

Per la produzione di acqua calda sanitaria si ha una classificazione riportata in Figura 53.

Nel caso si desideri avere una scala unica per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria allora si deve calcolare l'indice prestazionale:

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} \quad [27]$$

La prestazione energetica globale, rappresentata dai relativi indici per la climatizzazione invernale (EP_i), e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici e sanitari (EP_{acs}), in kWh/m^2

anno di superficie utile dell'edificio, viene messa a confronto con una scala di valori costituenti le classi energetiche. La classificazione delle scale energetiche globali è riportata in Figura 54.

Al punto 3 dell'allegato 4 del DM 26 giugno è riportata la scala nazionale delle classi, espressione della prestazione energetica globale per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici e sanitari, determinata sulla base di considerazioni tecnico-economiche.

CLASSE	PRESTAZIONE EP _{acs} kWh/m ² anno
A _{acs}	$EP_{acs} < 9$
B _{acs}	$9 \leq EP_{acs} < 12$
C _{acs}	$12 \leq EP_{acs} < 18$
D _{acs}	$18 \leq EP_{acs} < 21$
E _{acs}	$21 \leq EP_{acs} < 24$
F _{acs}	$24 \leq EP_{acs} < 30$
G _{acs}	$EP_{acs} \geq 30$

Figura 53: Classificazione per la produzione di acqua calda sanitari

CLASSE	PRESTAZIONE EPI
A _{gl} ⁺	$EP_{gl} \leq 0,25 EP_{U} (2010) + 9 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$
A _{gl}	$0,25 EP_{U} (2010) + 9 \text{ kWh/m}^2\text{anno} < EP_{gl} \leq 0,50 EP_{U} (2010) + 9 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$
B _{gl}	$0,50 EP_{U} (2010) + 9 \text{ kWh/m}^2\text{anno} < EP_{gl} \leq 0,75 EP_{U} (2010) + 12 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$
C _{gl}	$0,75 EP_{U} (2010) + 12 \text{ kWh/m}^2\text{anno} < EP_{gl} \leq 1,00 EP_{U} (2010) + 18 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$
D _{gl}	$1,00 EP_{U} (2010) + 18 \text{ kWh/m}^2\text{anno} < EP_{gl} \leq 1,25 EP_{U} (2010) + 21 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$
E _{gl}	$1,25 EP_{U} (2010) + 21 \text{ kWh/m}^2\text{anno} < EP_{gl} \leq 1,75 EP_{U} (2010) + 24 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$
F _{gl}	$1,75 EP_{U} (2010) + 24 \text{ kWh/m}^2\text{anno} < EP_{gl} \leq 2,50 EP_{U} (2010) + 30 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$
G _{gl}	$EP_{gl} > 2,50 EP_{U} (2010) + 30 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$

Figura 54: Classificazione nazionale per prestazione globale

2.10.1 INDICE DI PRESTAZIONE TERMICA DELL'EDIFICIO PER IL RAFFRESCAMENTO (EP_{e,inv})

Congiuntamente all'applicazione delle metodologie precedenti per riscaldamento e ACS si procede alla determinazione dell'indice di prestazione termica dell'edificio per il *raffrescamento*: EP_{e,inv} espresso in $\text{kWh/m}^2\text{anno}$, pari al rapporto tra il fabbisogno di energia termica per il *raffrescamento* dell'edificio (energia richiesta dall'involucro edilizio per mantenere negli ambienti interni le condizioni di comfort, e la superficie calpestabile del volume climatizzato).

Il riferimento nazionale per il calcolo del fabbisogno di energia termica per il raffrescamento sono le norme UNI TS 11300 prestazioni energetiche degli edifici – parte 1: determinazione del

fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, come già discusso in precedenza. Il metodo proposto porta a una classificazione delle prestazioni termiche per raffrescamento, $EP_{e,inv}$, data da una scala unica data in Tabella 21

$EP_{e,inv}$ kWh/m ² .anno	Prestazioni	Qualità prestazionale
$EP_{e,inv} \leq 10$	Ottime	I
$10 < EP_{e,inv} \leq 20$	Buone	II
$20 < EP_{e,inv} \leq 30$	Sufficienti	III
$30 < EP_{e,inv} \leq 40$	Mediocri	IV
$EP_{e,inv} > 40$	Cattive	V

Tabella 21: Classificazione $EP_{e,inv}$ per tutte le destinazioni d'uso

In alternativa si può procedere alla determinazione di indicatori quali: lo *sfasamento* (**S**), espresso in ore, ed il *fattore di attenuazione* (**f_a**), coefficiente adimensionale.

Questa procedura è comoda quando l'edificio non ha impianti di raffrescamento fissi, come nella maggior parte dei casi. Il riferimento nazionale per il calcolo dei predetti indicatori è la norma tecnica UNI EN ISO 13786, dove i predetti parametri rispondono rispettivamente alle seguenti definizioni:

3. *fattore di attenuazione o fattore di decremento è il rapporto tra il modulo della trasmittanza termica dinamica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie.*
4. *sfasamento è il ritardo temporale tra il massimo del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il massimo della temperatura dell'ambiente esterno.*

Si ricordi che, per quanto indicato nell'UNI EN ISO 13786, per componenti costituiti da strati piano e omogenei si *definiscono ammettenza termica periodica e conduttanza termica periodica* le seguenti espressioni:

$$Y_{11} = \frac{Z_{11} - 1}{Z_{12}} ; \quad Y_{22} = \frac{Z_{22} - 1}{Z_{12}} \quad [28]$$

E il *fattore di decremento* dato dalla relazione:

$$f = \frac{1}{|Z_{12}|U} \quad [29]$$

dove la trasmittanza termica U è calcolata in accordo alla EN ISO 6946. Il fattore di decremento è sempre inferiore all'unità.

Il ritardo del *fattore di decremento* è dato da:

$$\Delta t_f = \frac{T}{2\pi} \arg(Z_{12}) \quad [30]$$

in cui l'argomento è calcolato nell'intervallo 0 e π .

Sulla base dei valori assunti da questi parametri si ha la classificazione di Tabella 22.

Sfasamento	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
$S > 12$	$f_a \leq 0,15$	Ottime	I

$12 \geq S > 10$	$0,15 < f_a \leq 0,30$	<i>Buone</i>	<i>II</i>
$10 \geq S > 8$	$0,30 < f_a \leq 0,40$	<i>Sufficienti</i>	<i>III</i>
$8 \geq S > 6$	$0,40 < f_a \leq 0,60$	<i>Mediocri</i>	<i>IV</i>
$S \geq 6$	$f_a > 0,60$	<i>Cattive</i>	<i>V</i>

Tabella 22: Classificazione in base a parametri S e f_a

2.10.2 PROCEDURE PER LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA

Si riportano le procedure necessarie alla redazione ed emissione dell'attestato di certificazione energetica (allegati 6 e 7) del DM 26 giugno 2009. Si ricorda che i soggetti certificatori sono definiti sulla base del D.P.R. non ancora emanato, anche se valgono le disposizioni indicate dal D.lgs. 115/08 sui soggetti abilitati.

La certificazione va richiesta, a proprie spese, dal titolare del titolo abilitativo a costruire, comunque denominato, o dal proprietario, o dal detentore dell'immobile, ai soggetti certificatori riconosciuti ai sensi del D.P.R. con le disposizioni, ivi previste, per assicurare indipendenza e imparzialità di giudizio dei medesimi soggetti nei differenti casi di edifici nuovi o esistenti.

La procedura di certificazione energetica degli edifici comprende il complesso di operazioni svolte dai soggetti certificatori e in particolare:

5. *l'esecuzione di una diagnosi, o di una verifica di progetto (come indicato in precedenza), finalizzata alla determinazione della prestazione energetica dell'immobile e all'individuazione degli interventi di riqualificazione energetica che risultano economicamente convenienti;*
6. *il reperimento dei dati di ingresso, relativamente alle caratteristiche climatiche della località, alle caratteristiche dell'utenza, all'uso energetico dell'edificio e alle specifiche caratteristiche dell'edificio e degli impianti, avvalendosi, in primo luogo dell'attestato di qualificazione energetica se presente;*
7. *la determinazione della prestazione energetica mediante l'applicazione di un'appropriata metodologia, secondo quanto indicato in precedenza per UNI TS 11300 relativamente a tutti gli usi energetici, espressi in base agli indici di prestazione energetica EP totale e parziali;*
8. *l'individuazione delle opportunità di intervento e delle azioni più opportune per il miglioramento della prestazione energetica in relazione alle soluzioni tecniche proponibili, ai rapporti costi-benefici e ai tempi di ritorno degli investimenti necessari a realizzarle;*
9. *la classificazione dell'edificio in funzione degli indici di prestazione energetica di cui alla lettera b), del punto 1, e il suo confronto con i limiti di legge e le potenzialità di miglioramento in relazione agli interventi di riqualificazione individuati;*
10. *il rilascio dell'attestato di certificazione energetica.*

Le modalità esecutive della diagnosi possono essere diverse e commisurate al livello di complessità della metodologia di calcolo utilizzata per la valutazione della prestazione energetica, come precisato in precedenza.

Il richiedente il servizio di certificazione energetica, ai sensi dell'articolo 6, comma 2bis, del D.Lgs n. 192/05 e s.m.i., può rendere disponibili a proprie spese i dati relativi alla prestazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare. lo stesso può richiedere il rilascio dell'attestato di certificazione energetica sulla base di:

11. *un attestato di qualificazione energetica relativo all'edificio o alla unità immobiliare oggetto di certificazione, anche non in corso di validità, evidenziando eventuali interventi su edifici ed impianti eseguiti successivamente;*
12. *le risultanze di una diagnosi energetica effettuata da tecnici abilitati con modalità coerenti con i metodi di valutazione della prestazione energetica attraverso cui si intende procedere.*

Il soggetto certificatore è tenuto a utilizzare e valorizzare i documenti sopra indicati (e i dati in essi contenuti), qualora esistenti e resi disponibili dal richiedente. L'attestato di qualificazione e la diagnosi predetti, in considerazione delle competenze e delle responsabilità assunte dai firmatari degli stessi, sono strumenti che favoriscono e semplificano l'attività del soggetto certificatore e riducono l'onere a carico del richiedente.

Entro i 15 giorni successivi alla consegna al richiedente dell'attestato di certificazione energetica, il soggetto certificatore trasmette *copia del certificato alla regione o provincia autonoma competente per territorio.*

Nel caso di edifici di nuova costruzione o di interventi ricadenti nell'ambito di applicazione di cui all'articolo 3, comma 2, lettere a), b) e c), del medesimo del D.Lgs n. 192 e s.m.i., in questo ultimo caso limitatamente alle ristrutturazioni totali, *la nomina* del soggetto certificatore avviene prima dell'inizio dei lavori.

Nei medesimi casi, qualora fossero presenti, a livello regionale o locale, incentivi legati alla qualità energetica dell'edificio (bonus volumetrici, ecc.), la richiesta dell'attestato di certificazione energetica può essere resa obbligatoria prima del deposito della richiesta di autorizzazione edilizia.

In tali ambiti, al fine di consentire controlli in corso d'opera, può essere previsto che il *direttore dei lavori* segnali al soggetto certificatore le varie fasi della costruzione dell'edificio e degli impianti, rilevanti ai fini delle prestazioni energetiche dell'edificio.

Il soggetto certificatore, nell'ambito della sua attività di diagnosi, verifica o controllo, può procedere alle ispezioni e al *collaudo energetico* delle opere, avvalendosi, ove necessario di tecniche strumentali.

Le condizioni e le modalità attraverso cui è stata effettuata la valutazione della prestazione energetica di un edificio o di una unità immobiliare va indicata esplicitamente nel relativo attestato, anche ai fini della determinazione delle conseguenti responsabilità.

In caso di trasferimento di immobili, garantendo la corretta informazione dell'acquirente, in presenza di edifici di cattiva qualità energetica, per i quali non si reputa sempre congruo introdurre oneri aggiunti per certificare tale stato, ed in ogni caso per favorire lo sviluppo graduale delle procedure di certificazione energetica sgombrando la strada a facili speculazioni nei medesimi casi, il MSE ha ritenuto opportuno dare *la possibilità al proprietario di attestare con propria dichiarazione la pessima qualità energetica del suo edificio ponendolo in classe G.* Tale procedura non è compatibile con l'accesso ad incentivi pubblici.

Pertanto per gli edifici di superficie utile $S \leq 1000 \text{ m}^2$ e ai soli fini di trasferimento a titolo oneroso, mantenendo la garanzia di una corretta informazione dell'acquirente, il proprietario dell'edificio, consapevole della scadente qualità energetica dell'immobile, può scegliere di ottemperare agli obblighi di legge attraverso una sua dichiarazione in cui afferma che:

13. *l'edificio è di classe energetica G;*
14. *i costi per la gestione energetica dell'edificio sono molto alti;*

Anche in questo caso entro quindici giorni dalla data del rilascio di detta dichiarazione, il proprietario deve trasmettere copia alla regione o provincia autonoma competente per territorio.

2.10.3 VALIDITÀ DEGLI ATTESTATI DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA

Gli attestati di certificazione hanno una validità temporale massima di **10 anni**. Tale validità non è inficiata dall'emanazione di provvedimenti di aggiornamento del DM 26 giugno 2009 e/o introduttivi della certificazione energetica di ulteriori servizi quali, a titolo esemplificativo, la climatizzazione estiva e l'illuminazione.

La validità massima dell'attestato di certificazione di un edificio, è confermata solo se sono rispettate, ai sensi dell'articolo 7, comma 1, del D.Lgs n. 192 e s.m.i., le prescrizioni normative vigenti per le operazioni di controllo di efficienza energetica, compreso le eventuali conseguenze di adeguamento, degli impianti di climatizzazione asserviti agli edifici.

Nel caso di mancato rispetto delle predette disposizioni l'attestato di certificazione decade il 31 dicembre dell'anno successivo a quello in cui è prevista la prima scadenza non rispettata per le predette operazioni di controllo di efficienza energetica.

Ai fini del punto 2, i libretti di impianto o di centrale di cui all'articolo 11, comma 9, del D.P.R., n. 412/93, sono allegati, in originale o in copia, all'attestato di certificazione energetica.

Ai sensi dell'articolo 6, comma 5, del D.Lgs n. 192 e s.m.i. l'attestato di certificazione energetica è aggiornato ad ogni intervento di ristrutturazione, edilizio e impiantistico, che modifica la prestazione energetica dell'edificio nei termini seguenti:

15. *Ad ogni intervento migliorativo della prestazione energetica a seguito di interventi di riqualificazione che riguardino almeno il 25% della superficie esterna dell'immobile;*
16. *ad ogni intervento migliorativo della prestazione energetica a seguito di interventi di riqualificazione degli impianti di climatizzazione e di produzione di acqua calda sanitaria che prevedono l'istallazione di sistemi di produzione con rendimenti più alti di almeno 5 punti percentuali rispetto ai sistemi preesistenti;*
17. *ad ogni intervento di ristrutturazione impiantistica o di sostituzione di componenti o apparecchi che, fermo restando il rispetto delle norme vigenti, possa ridurre la prestazione energetica dell'edificio;*
18. *facoltativo in tutti gli altri casi.*

Riguardo al premio per impianti fotovoltaici abbinati a un uso efficiente dell'energia previsti dall'articolo 7, del D.Lgs 29 dicembre 2003, n. 387, l'indice di prestazione energetica, su cui determinare la riduzione per accedere al premio, si determina esclusivamente con il metodo di calcolo di progetto di cui in precedenza.

2.11 DPR N. 75/2013 – CERTIFICATORI ENERGETICI

E' stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 149 del 27/06/2013, ed entra in vigore dal 12/07/2013, il D.P.R. 16/04/2013, n. 75, il nuovo ed atteso regolamento che definisce i requisiti professionali ed i criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti o degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici.

Il Regolamento, che definisce i requisiti dei certificatori energetici, completa l'attuazione della Direttiva 2002/91/CE sul risparmio energetico, già avviata con il D.P.R. 59/2009 (Regolamento recante metodologie di calcolo e requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici) e con il D.M. 26/06/2009 (Linee guida nazionali per la certificazione energetica).

In particolare il Regolamento prevede che possono svolgere l'attività di certificazione energetica:

- *tecnici abilitati, sia dipendenti di enti pubblici o di società di servizi pubbliche o private che liberi professionisti, in possesso di almeno uno dei seguenti titoli: laurea in architettura,*

ingegneria, agraria, scienze forestali, diploma di perito industriale, geometra, perito agrario;

- *enti pubblici o organismi di diritto pubblico accreditati che svolgono attività di ispezione del settore edile e degli impianti;*
- *società di servizi energetica (ESCo).*

I corsi di formazione per la certificazione energetica degli edifici, i cui contenuti sono riportati nell'Allegato 1, dovranno avere durata minima di 64 ore, e saranno tenuti, a livello nazionale, da Università, Enti di ricerca, Ordini e Collegi professionali autorizzati dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, mentre a livello regionale, dalle Regioni e Province autonome e da altri soggetti autorizzati dalle Regioni.

Le nuove disposizioni si applicheranno a Regioni e Province autonome sprovviste di una propria disciplina in materia di qualificazione dei certificatori energetici, e comunque fino all'entrata in vigore delle norme regionali. Le Regioni e Province autonome che invece hanno già legiferato sono tenute ad adeguare la propria normativa.

2.12 DPR 59/09 E DM 06/09

I decreti attuativi per la certificazione energetica indicati dal D.lgs. 192/05 hanno trovato formulazione con il DPR 59/09 e con il DM 06/09. Si tratta di due decreti corposi ed importanti che costituiscono la base di riferimento per la certificazione energetica. Questi decreti valgono per tutte le regioni italiane che non hanno legiferato in proprio per effetto della clausola di cedevolezza. Anche se si auspica una uniformazione a livello nazionale, esiste di fatto una differenza notevole fra le varie normative regionali e ciò comporta una sperequazione fra cittadini e, più ancora, fra i certificatori energetici costretti ad operare in modo diverso nelle varie regioni.

Questo capitolo esamina questi decreti e pertanto si invita il lettore ad un attento esame di quanto qui esposto. Quanto sopra riportato circa l'articolato del DPR 59/09 viene ora presentato in forma sinottica. La norma indica le procedure di calcolo per il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo. In entrambi i casi è bene tenere presente che la grandezza di riferimento per il progetto degli impianti di climatizzazione è sempre la potenza (termica per il riscaldamento e frigorifera per il raffrescamento) e pertanto tutti i calcoli portano a determinare i **carichi termici** (*espressi in Watt*) sia invernali che estivi.

Ai fini della certificazione energetica e per la verifica energetica degli edifici la grandezza di riferimento è l'energia (per riscaldamento, per raffrescamento, per acqua calda sanitaria o per tutti i casi contemporaneamente) e pertanto si parla di kJ.

Può essere banale ricordare che per passare dalla potenza all'energia occorre moltiplicare per un tempo che di solito è il numero di secondi in un mese dato dal prodotto di N (numero di giorni del mese specifico) per 86400 s/giorno.

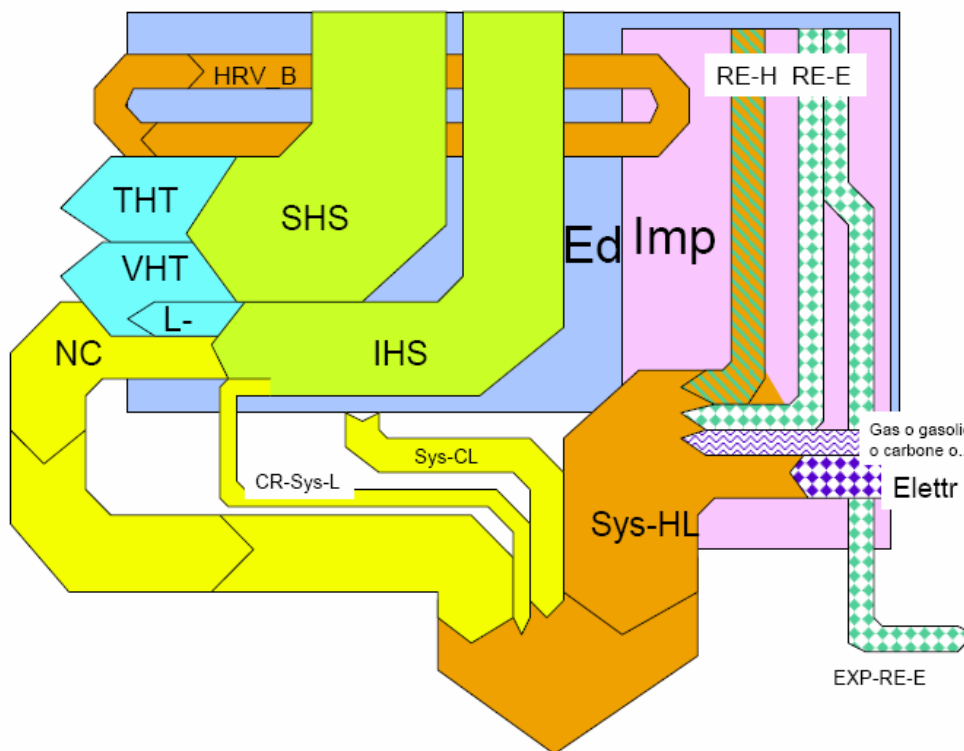


Figura 55: Schema di calcolo per il riscaldamento invernale

Si osservino bene tutte le relazioni che sono proposte nell'ambito del DPR 59/09 e delle UNI TS 11300: sono tutte riferite all'**energia globale media mensile**.

I fabbisogni specifici sono definiti diversamente a seconda del periodo stagionale.

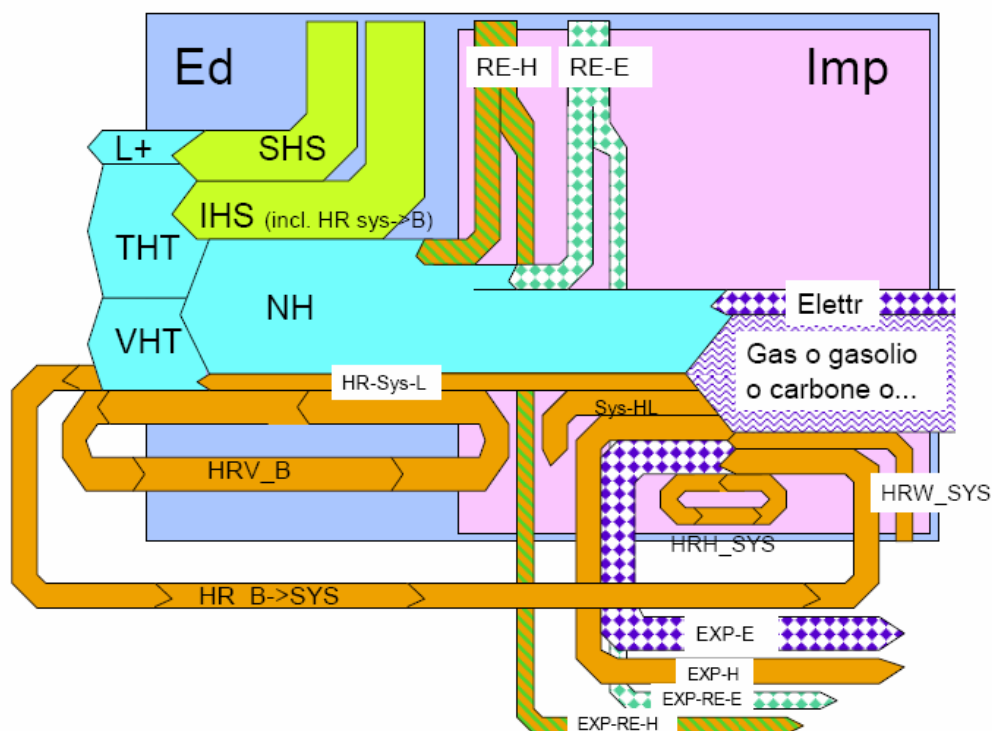


Figura 56: Schema di calcolo per il raffrescamento estivo

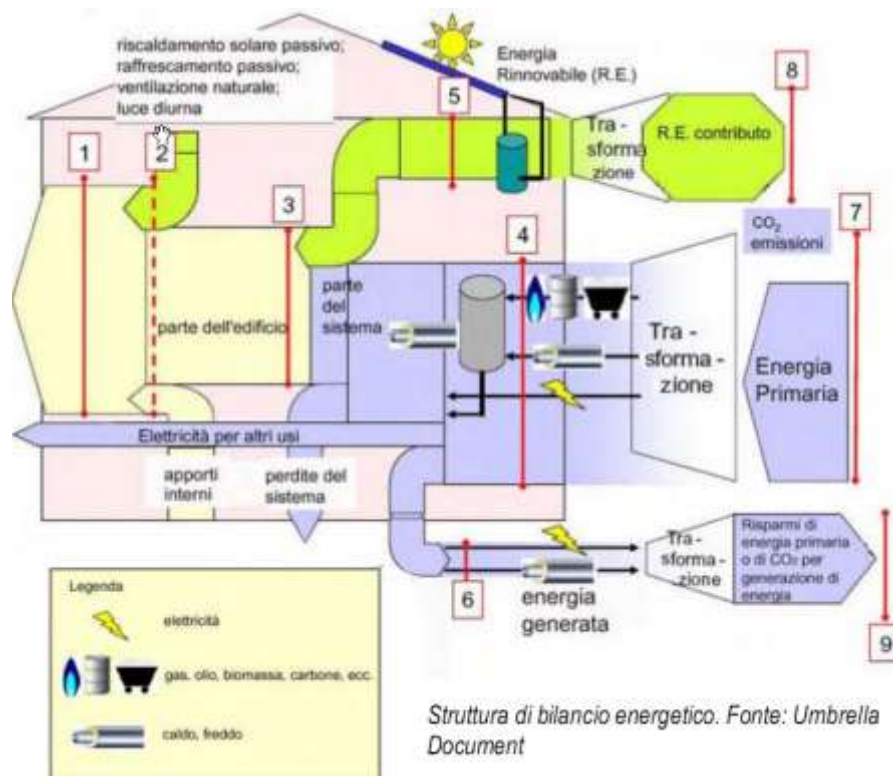


Figura 57: Schema generale dei flussi energetici

Per la climatizzazione invernale:

$$EP_i = \frac{Q_{p,H}}{S}$$

Per edifici residenziali o:

$$EP_i = \frac{Q_{p,H}}{V}$$

Per le altre categorie e deve essere

$$EP_i \leq EP_{inv,limite}$$

Per la climatizzazione estiva:

$$EP_{e,invl} = \frac{Q_{C,nd}}{S}$$

ovvero anche, per edifici non residenziali:

$$EP_{e,invl} = \frac{Q_{C,nd}}{V}$$

e deve risultare:

$$EP_{e,invl} \leq EP_{e,invl,limite}$$

L'applicazione del DPR 59/09 è differenziato a seconda dei seguenti quattro casi:

- caso n.1 (edifici nuovi e ristrutturati totali $\geq 1000 \text{ m}^2$);

- caso n.2 (ristrutturazioni totali $\leq 1000 \text{ m}^2$ e parziali);
- caso n.3 (nuovi impianti termici), ristrutturazione di impianti termici e sostituzione generatori di calore;
- caso n.4 (sostituzione generatori di calore).

2.12.1 CASO 1: APPROCCIO PRESTAZIONALE

Si applica alle nuove costruzioni o alle ristrutturazioni complete di edifici con superficie utile $> 1000 \text{ m}^2$ o con ampliamenti di volumetria $> 20\%$ della volumetria dell'edificio.

La condizione necessaria è che essere $\frac{V_{\text{vetrata}}}{S_{\text{utile}}} \leq 0.18$. Per questi casi non si procede alla verifica degli EP sia invernali sia estivi ma si verificano solamente che le trasmittanze degli elementi disperdenti siano inferiori a quelle limite: $U_i \leq U_{i,\text{lim}}$.

Si ricordi che il DPR 59/09 non si applica solamente a:

- edifici di particolare interesse storico o artistico nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe un'alterazione delle loro caratteristiche;
- fabbricati industriali, artigianali ed agricoli riscaldati solo da processi per le proprie attività produttive;
- fabbricati isolati con superficie utile $< 50 \text{ m}^2$;
- impianti installati ai fini del processo produttivo realizzato nell'edificio, anche se utilizzati in parte non preponderante per gli usi tipici del settore civile.

La classificazione degli edifici è sempre quella indicata dal DPR 412/93 data nella seguente tabella.

CATEGORIE EDIFICI (DPR 412/93)	
E. 1 (1)	EDIFICI RESIDENZIALI con occupazione continuativa
E. 1 (2)	EDIFICI RESIDENZIALI con occupazione saltuaria
E. 1 (3)	EDIFICI ADIBITI ad ALBERGO, PENSIONE ed attività similari
E. 2	EDIFICI per UFFICI e assimilabili
E. 3	OSPEDALI, CASE di CURA, e CLINICHE
E. 4	EDIFICI adibiti ad attività RICREATIVE, associative o di culto e assimilabili
E. 5	EDIFICI adibiti ad attività COMMERCIALI
E. 6	EDIFICI adibiti ad attività SPORTIVE
E. 7	EDIFICI adibiti ad attività SCOLASTICHE
E. 8	EDIFICI INDUSTRIALI E ARTIGIANALI riscaldati per il comfort degli occupanti

Tabella 23: Classificazione dei edifici per destinazione d'uso

I valori limiti degli indici EP_i per edifici residenziali (esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme) sono dati nella seguente tabella:

	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	<600 GG	601 GG	900 GG	901 GG	1400 GG	1401 GG	2100 GG	2101 GG	3000 GG	>3000 GG
≤ 0.2	8.5	8.5	12.8	12.8	21.3	21.3	34	34	46.8	46.8
≥ 0.9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

Tabella 24. Valori limiti dell'indice EP_i per edifici residenziali - Anno 2010

Per le altre categorie di edifici si applica la seguente tabella:

	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	<600 GG	601 GG	900 GG	901 GG	1400 GG	1401 GG	2100 GG	2101 GG	3000 GG	>3000 GG
≤ 0.2	2	2	3.6	3.6	6	6	9.6	9.6	12.7	12.7
≥ 0.9	8.2	8.2	12.8	12.8	17.3	17.3	22.5	22.5	31	31

Tabella 25: Valori limiti dell'indice EP_i per edifici non residenziali - Anno 2010

Per l' $E_{Pe,inv}$ per la climatizzazione estiva si ha la seguente classificazione, valida per tutte le destinazioni d'uso, vedi Tabella 26.

$E_{Pe,inv}$ (kWh/m ² anno)	Prestazioni	Qualità prestazionale
$E_{Pe,inv} < 10$	ottime	I
$10 \leq E_{Pe,inv} < 20$	buone	II
$20 \leq E_{Pe,inv} < 30$	medie	III
$30 \leq E_{Pe,inv} < 40$	sufficienti	IV
$E_{Pe,inv} \geq 40$	mediocri	V

Tabella 26: Classificazione per climatizzazione estiva

2.12.2 METODO BASATO SU PARAMETRI QUALITATIVI

Congiuntamente all'applicazione delle metodologie di cui al paragrafo 5.2, punto 3, e con le limitazioni ivi previste, in alternativa alla metodologia di cui al paragrafo 6.1, si può procedere alla determinazione di indicatori quali: lo sfasamento (S), espresso in ore, ed il fattore di attenuazione (fa), coefficiente adimensionale. Il riferimento nazionale per il calcolo dei predetti indicatori è la norma tecnica UNI EN ISO 13786, dove i predetti parametri rispondono rispettivamente alle seguenti definizioni:

- a) **fattore di attenuazione** o **fattore di decremento** è il rapporto tra il modulo della trasmittanza termica dinamica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie.
- b) **sfasamento** è il ritardo temporale tra il massimo del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il massimo della temperatura dell'ambiente esterno.

Sulla base dei valori assunti da tali parametri si definisce la seguente classificazione valida per tutte le destinazioni d'uso, Tabella 27.

Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
$S > 12$	$Fa < 0,15$	ottime	I
$12 \geq S > 10$	$0,15 \leq fa < 0,30$	buone	II
$10 \geq S > 8$	$0,30 \leq fa < 0,40$	medie	III
$8 \geq S > 6$	$0,40 \leq fa < 0,60$	sufficienti	IV
$6 \geq S$	$0,60 \leq fa$	mediocri	V

Tabella 27: Classificazione in base ai parametri qualitativi

2.12.3 PREREQUISITO COMMA 16

Per le zone climatiche C, D, E e F (escluso le categorie E8), la trasmittanza termica delle pareti di separazione tra edifici o unità immobiliare, sia verticali sia orizzontali, e delle strutture opache di ambienti non riscaldati verso l'esterno deve essere $\leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

In base al comma 8 deve anche esser rispettato il limite:

$$\frac{S_{trasparente}}{S_{utile}} < 0,18$$

(precedentemente il D.lgs. 311/06 poneva questo limite pari a 0,2). Inoltre le trasmittanze delle strutture opache da ambienti riscaldati verso l'esterno e verso ambienti non riscaldati deve essere:

$$U_i \leq U_{i,lim}$$

con U_{lim} dato in Tabella 28.

In tutti i casi di nuova costruzione o ristrutturazione di edifici pubblici o a uso pubblico, devono essere rispettate le seguenti ulteriori disposizioni:

- a) i valori limite già previsti ai punti 1, 2, 3 e 4 dell'allegato C al decreto legislativo **[trasmissioni limite di strutture opache e trasparenti]** sono **ridotti del 10 per cento**;
- b) il valore limite del rendimento globale medio stagionale, già previsto al punto 5, dell'allegato C, del decreto legislativo, è calcolato con la seguente formula: $\eta_g = (75 + 4 \log P_n)\%$ **[anziché $\eta_g = (75 + 3 \log P_n)\%$]**;
- c) i predetti edifici devono essere dotati di **impianti centralizzati per la climatizzazione invernale ed estiva, qualora quest'ultima fosse prevista**. Questo limite è importante per incrementare l'efficienza globale degli edifici e migliorare l'utilizzo degli impianti con una manutenzione programmata unica in centrale termica anziché suddivisa in tanti piccoli impianti, vedi Figura 58.

Nell'applicazione dei limiti per EP_i si ricorda che:

- **S**, espressa in m², è la superficie che delimita verso l'esterno (ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento) il volume riscaldato V;
- **V** è il volume lordo, espresso in metri cubi, delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.

Valori limite della trasmittanza termica U (espressa in W/m ² K)					
Valori applicabili fino al 31 dicembre 2009					
Zona Climatica	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali e inclinate		Chiusure trasparenti Con infissi	Chiusure trasparenti Solo vetro
		Coperture	Pavimenti		
A	0,72 (0,62)	0,42 (0,38)	0,74 (0,65)	5,0 (4,6)	4,5 (4,5)
B	0,54 (0,48)	0,42 (0,38)	0,55 (0,49)	3,6 (3,0)	3,4 (3,4)
C	0,46 (0,40)	0,42 (0,38)	0,49 (0,42)	3,0 (2,6)	2,3 (2,3)
D	0,40 (0,36)	0,35 (0,32)	0,41 (0,36)	2,8 (2,4)	2,1 (2,1)
E	0,37 (0,34)	0,32 (0,30)	0,38 (0,33)	2,4 (2,2)	1,9 (1,9)
F	0,35 (0,33)	0,31 (0,29)	0,36 (0,32)	2,2 (2,0)	1,7 (1,7)
Valori applicabili dal 1 gennaio 2010					
Zona Climatica	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali e inclinate		Chiusure trasparenti Con infissi	Chiusure trasparenti Solo vetro
		Coperture	Pavimenti		
A	0,62 (0,56)	0,38 (0,34)	0,65 (0,59)	4,6 (3,9)	3,7 (3,7)
B	0,48 (0,43)	0,38 (0,34)	0,49 (0,44)	3,0 (2,6)	2,7 (2,7)
C	0,40 (0,36)	0,38 (0,34)	0,42 (0,38)	2,6 (2,1)	2,1 (2,1)
D	0,36 (0,30)	0,32 (0,28)	0,36 (0,30)	2,4 (2,0)	1,9 (1,9)
E	0,34 (0,28)	0,30 (0,24)	0,33 (0,27)	2,2 (1,6)	1,7 (1,7)
F	0,33 (0,27)	0,29 (0,23)	0,32 (0,26)	2,0 (1,4)	1,3 (1,3)

Tabella 28: Valori limiti delle trasmittanze per elementi opachi e vetrati.



Figura 58: Impianti singoli di tipo split in un edificio

2.12.4 PONTI TERMICI CORRETTI

In presenza di elementi della parete con riduzione di spessore rispetto all'elemento principale costituente la parete stessa (cioè che costituisce per la maggior parte la parete stessa) occorre calcolare la **trasmittanza media pesata** secondo le aree delle superfici frontali dei vari componenti la parete e utilizzare questa per il confronto con la trasmittanza limite riportata nelle tabelle; cioè

$$U_{\text{limite}} \geq \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{elementi}}} A_i \cdot U_i}{\sum_{i=1}^{N_{\text{elementi}}} A_i}$$

2.12.5 RENDIMENTO DEL GENERATORE

Il rendimento del generatore deve essere non inferiore a:

$$\eta_t (100\%P_n) \geq (X + 2 \log P_n)$$

con

$$X = 90 \text{ zone A,B,C}$$

$$X = 93 \text{ zone D,E,F}$$

La temperatura media del fluido termovettore in corrispondenza delle condizioni di progetto non deve superare i 60 °C. Deve esser inoltre installata una centralina di regolazione programmabile in ogni unità immobiliare e dispositivi modulanti per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone aventi caratteristiche di uso ed esposizioni uniformi al fine di non determinare sovra riscaldamento per effetto degli apporti solari e degli apporti gratuiti interni.

- Nel caso di installazione di **pompe di calore elettriche o a gas** queste abbiano un rendimento utile in condizioni nominali, η_{u} riferito all'energia primaria:

$$\eta_{\text{u}} \geq 90 + 3 \log P_n$$

Ai fini della verifica del fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale si può omettere il calcolo attribuendo all'edificio il valore limite massimo applicabile EP_{lim}

2.12.6 CASO 2 - RISTRUTTURAZIONI TOTALI < 1000 M²

Ristrutturazione totali o parziali non ricadenti nel caso precedente, manutenzione straordinaria involucro edilizio.

Ampliamenti di volumetria < 20% volumetria edificio.

Si esegue la verifica solo delle trasmittanze:

- *trasmittanza strutture opache da ambienti riscaldati verso esterno e verso ambienti non riscaldati: $U \leq U_{lim}$ con valori limiti eguali al caso 1.*
- *limiti alle trasmittanze delle chiusure orizzontali superiori orizzontali o inclinate di ambienti climatizzati verso l'esterno: $U \leq U_{lim}$ con valori limiti eguali al caso 1.*
- *limiti alle trasmittanze delle chiusure orizzontali inferiori - pavimenti di ambienti climatizzati verso esterno o terreno: $U \leq U_{lim}$ con valori limiti eguali al caso 1.*
- *limiti alle trasmittanze strutture opache verticali verso ambienti non climatizzati: U_{lim} con valori limiti eguali al caso 1.*
- *limiti alle trasmittanze delle chiusure apribili ed assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi, considerando le parti trasparenti e/o opache che le compongono: $U_w \leq U_{wlim}$ con valori limite eguali al caso 1.*
- *limiti alle trasmittanze delle chiusure apribili ed assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi, considerando le parti trasparenti e/o opache che le compongono: $U_w \leq U_{wlim}$ con valori limite eguali al caso 1.*

2.12.7 CASO 3 - EDIFICI ESISTENTI

Edifici esistenti approccio prestazionale (art. 4 comma 5 D.P.R. 02/04/09 n. 59):

- *nuova installazione di impianti termici*
- *ristrutturazione integrale di impianti termici*
- *sostituzioni di generatori di calore con $P_n < 100$ kW*

Deve essere:

$$\eta_g \geq \eta_{glim}$$

Il dimensionamento dell'impianto termico deve essere fatto in modo da assicurare un rendimento globale medio stagionale non inferiore a:

$$\eta_g \geq (75 + 3 \log P_n) \%$$

Obbligo di allegare alla relazione tecnica una **diagnosi energetica dell'edificio e dell'impianto** nella quale si individuano gli interventi di riduzione della spesa energetica, i relativi tempi di ritorno degli investimenti, e i possibili miglioramenti di classe dell'edificio nel sistema di certificazione energetica in vigore e sulla base della quale sono state determinate le scelte impiantistiche che si vanno a realizzare.

Caso 3: approccio prescrittivo edifici esistenti solo per sostituzione generatori di calore (comma 6 lettera a), b))

$$\begin{aligned} \eta_{tu}(100\%P_n) &\geq (90 + 2 \log P_n) \% && \text{per i nuovi generatori a combustione} \\ \eta_u &\geq 90 + 3 \log P_n && \text{per le nuove pompe di calore elettriche o a gas} \end{aligned}$$

$$\eta_{tu}^{100\%} = COP_{el}^{100\%} \cdot \eta_{SEN} \quad \eta_{SEN} = 0.41 AEEG$$

$$\eta_{tu}^{100\%} > \eta_{tu,lim} = X + 3 \cdot \log_{10}(P_n) \quad P_n \text{ pot. utile in kW}$$

Presenza (salvo casi da giustificare nella realtà) almeno di una **centralina di termoregolazione programmabile** per ogni generatore di calore e dispositivi modulanti per la regolazione automatica

della t_{amb} nei singoli locali o zone che con le loro caratteristiche di uso ed esposizione possano godere, a differenza di altri ambienti riscaldati, di apporti di calore solare o comunque gratuiti.

Detta centralina si differenzia riguardo alla tipologia impiantistica e deve possedere i requisiti già previsti all'art. 7 del DPR 412/93 per gli impianti nuovi e ristrutturati, ma in ogni caso deve:

- 1) essere pilotata da **sonde** di rilevamento della T_i , supportate eventualmente da una analoga centralina per la T_e , con programmatore che consenta la regolazione della temperatura su due livelli nell'arco delle 24 h per impianti termici centralizzati
- 2) consentire la programmazione e la regolazione della temperatura ambiente su due livelli nell'arco delle 24 h per impianti termici per singole unità immobiliari.
- **sia verificato il dimensionamento** del generatore per potenze superiori a quelle preesistenti;
- nel caso di installazione di generatori a servizio di più unità immobiliari, sia verificata la **corretta equilibratura del sistema di distribuzione**, al fine di consentire contemporaneamente, in ogni unità immobiliare, il rispetto dei limiti minimi di comfort e limiti massimi di temperatura interna; eventuali squilibri devono essere corretti in occasione della sostituzione del generatore, eventualmente installando un sistema di contabilizzazione del calore che permetta la ripartizione dei consumi per singola unità immobiliare;
- nel caso di sostituzione di generatori di calore di potenza nominale al focolare < 35 kW, con altri della stessa potenza, è rimessa alle autorità locali, ogni valutazione sull'obbligo di presentazione della relazione tecnica di cui al c. 15 e se la medesima può essere omessa a fronte dell'obbligo di presentazione della dichiarazione di conformità ai sensi della legge 46/90 e successive modificazioni ed integrazioni.

Se il requisito prescrittivo è verificato allora si omette la verifica del rendimento globale:

$$\eta_g \geq \eta_{glim}.$$

In alternativa solo per sostituzione dei generatori di calore (art. 4 comma 7 D.P.R. 02/04/09 n. 59) qualora, per garantire la sicurezza, non fosse possibile rispettare la condizione del precedente comma 4, lettera a),

$$\eta_{tu}(100\%P_n) \geq (90 + 2 \log P_n) \%$$

in particolare nel caso in cui il sistema fumario per l'evacuazione dei prodotti della combustione è al servizio di più utenze ed è di tipo collettivo ramificato, e qualora sussistano motivi tecnici o regolamenti locali che impediscano di avvalersi della deroga prevista all'articolo 2, comma 2 del DPR. 551, la semplificazione di cui al c. 4 può applicarsi ugualmente, fermo restando il rispetto delle altre condizioni previste, a condizione di installare generatori di calore che abbiano:

$$\eta_{tu}(0,3P_n) \geq (85 + 3 \log P_n) \%$$

Si deve predisporre una dettagliata relazione che attesti i motivi della deroga dalle disposizioni di cui al c. 4, da allegare alla relazione tecnica, ove prevista, o alla dichiarazione di conformità, ai sensi della legge 46/90, correlata all'intervento, qualora le autorità locali competenti si avvalgano dell'opzione descritta precedentemente per sostituzioni di generatori di calore con $P_n < 35$ kW.

In tutti gli edifici esistenti con un numero di unità abitative > 4 , e in ogni caso per P_n del generatore di calore dell'impianto centralizzato ≥ 100 kW, appartenenti alle categorie E1 ed E2, è **preferibile il mantenimento di impianti termici centralizzati laddove esistenti**.

Le cause tecniche o di forza maggiore per ricorrere ad eventuali interventi finalizzati alla trasformazione degli impianti termici centralizzati ad impianti con generazione di calore separata per singola unità abitativa devono essere dichiarate nella relazione tecnica di cui al comma 25 del DPR 02/04/09 n. 59.

2.12.8 NUOVA INSTALLAZIONE DI IMPIANTI TERMICI

Ristrutturazione integrale di impianti termici: requisito prescrittivo (comma 10):

In tutti gli edifici esistenti con un **numero di unità abitative > 4**, appartenenti alle categorie E1 ed E2, in caso di ristrutturazione dell'impianto termico o d'installazione dell'impianto termico devono essere realizzati gli interventi necessari per permettere, ove tecnicamente possibile, la **contabilizzazione** e la **termoregolazione** del calore per singola unità abitativa. Gli eventuali impedimenti di natura tecnica alla realizzazione dei predetti interventi, devono essere evidenziati nella relazione tecnica di cui al comma 25 del D.P.R. 02/04/09

Requisito prescrittivo (comma 11):

Le apparecchiature installate ai sensi del comma 10 precedente devono assicurare un **errore di misura**, nelle condizioni di utilizzo, **inferiore a $\pm$ il 5%**, con riferimento alle norme UNI in vigore, anche per le modalità di contabilizzazione si fa riferimento alle vigenti norme e linee guida UNI.

Requisiti (art. 4 comma. 12 D.P.R. 02/04/09 n. 59)

Per la determinazione del fabbisogno di energia primaria dell'edificio EP_i , sono considerati ricadenti fra gli impianti alimentati da fonte rinnovabile gli impianti di climatizzazione invernale dotati di generatori di calore alimentati a **biomasse** combustibili che rispettano i seguenti requisiti:

- *rendimento utile nominale minimo conforme alla classe 3 di cui alla norma europea UNI EN 303-5;*
- *limiti di emissione conformi all'allegato IX alla parte quinta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni, ovvero i più restrittivi limiti fissati da norme regionali, ove presenti;*
- *utilizzano biomasse combustibili ricadenti fra quelle ammissibili ai sensi dell'allegato X alla parte quinta del medesimo decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni;*
- *rendimento utile nominale minimo conforme alla classe 3 di cui alla norma europea UNI EN 303-5: questo secondo la norma citata implica un rendimento termico utile non inferiore a:*

$$\eta_{tu} = 67 + 6 \log P_n$$
- *con p_n potenza nominale del generatore e log logaritmo in base 10.*

I limiti di emissione conformi all'allegato IX alla parte quinta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni, ovvero i più restrittivi limiti fissati da norme regionali, ove presenti. *Si riportano i valori limite di emissione per gli impianti che utilizzano biomasse come da allegato IX del D.lgs. 3 aprile n. 152 e s.m.i.*

Per tutte le categorie di edifici, con esclusione di E.8 per nuova costruzione e ristrutturazioni totali di edifici esistenti in cui è prevista l'installazione di impianti di climatizzazione invernale dotati di generatori di calore alimentati da **biomasse** combustibili **si procede alla verifica che la trasmittanza termica** delle diverse strutture edilizie, opache e trasparenti, che delimitano l'edificio verso l'esterno o verso vani non riscaldati, non sia maggiore dei valori definiti nella pertinente tabella di cui ai punti 2, 3 e 4 dell'allegato c al D.Lgs. n. 192/05 e s.m.i.

2.12.9 ADEMPIMENTI NEL SETTORE PUBBLICO

In tutti i casi di nuova costruzione o ristrutturazione di edifici pubblici o a uso pubblico, devono essere rispettate le seguenti ulteriori disposizioni:

- *i valori limite già previsti dell'allegato c, D.Lgs. n. 192 e s.m.i., sono ridotti del 10 %;*

$$EP_i \leq 0,90 E_{plim}$$

$$U \leq 0,90 U_{lim}$$

- il valore di η_{glim} è calcolato con la seguente formula:

$$\eta_{glim} = (75 + 4 \log P_n) \%$$

- i predetti edifici devono essere dotati di impianti centralizzati per la climatizzazione invernale ed estiva, qualora quest'ultima fosse prevista.

2.12.10 VERIFICA IGROMETRICA

Fra gli altri requisiti richiesti dal DPR 59/09 vi è la verifica termo igrometrica delle pareti e della formazione della condensa superficiale, per tutti gli edifici nuovi e ristrutturati ad eccezione della categoria E8. Di questa verifica si è parlato esplicitamente in un precedente capitolo.

2.12.11 CONTROLLO DELL'IRRAGGIAMENTO SOLARE

Al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti limitando l'apporto di calore per irraggiamento solare, per tutti gli edifici di nuova costruzione e ristrutturazioni totali.

1° Requisito Prescrittivo (comma 18 lettera a)

Il progettista deve valutare e documentare l'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate esterne o interne

2° Requisito Prescrittivo (comma 18 lettera b)

per tutte le categorie di edifici, ad eccezione, di E.5, E.6, E.7 ed E.8, per nuove costruzioni e ristrutturazioni totali il progettista esegue, in tutte le zone climatiche eccetto la F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva,

$$I_{m,s}, \text{ sia } \geq 290 \text{ W/m}^2$$

Relativamente a tutte le pareti verticali opache con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest / nord / nord-est, almeno una delle seguenti verifiche:

- che il valore della massa superficiale m_s , sia

$$> 230 \text{ kg/m}^2$$

- che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica Y_{ie} (data dal prodotto della trasmittanza termica per il fattore di attenuazione), sia

$$< 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$M_s > 230 \text{ Kg/m}^2$$

$$Y_{IE} < 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Su tutte le pareti opache orizzontali e inclinate che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica y_{ie} , sia:

$$y_{ie} < 0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K.}$$

Gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di **massa superficiale** o trasmittanza termica periodica delle pareti opache possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, ovvero **coperture a verde**, che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento

dell'irraggiamento solare. In tal caso deve essere prodotta un'adeguata documentazione e certificazione delle tecnologie e dei materiali che ne attestino l'equivalenza con le predette disposizioni.

3° Requisito Prescrittivo (comma 18 lettera c)

Il progettista utilizza al meglio le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi per favorire la **ventilazione naturale** dell'edificio.

Nel caso che tale ventilazione non sia efficace, può prevedere l'impiego di sistemi di **ventilazione meccanica** nel rispetto del c.13, art. 5, del D.P.R., n. 412/93 (recuperatori di calore).

2.12.12 UTILIZZO DI VETRATE A BASSO FATTORE SOLARE

Occorre limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti limitando l'apporto di calore per irraggiamento solare per tutti gli edifici nuovi e ristrutturati totalmente di superficie ad eccezione delle cat. E6 ed E8 (art. 4 comma 19).

Requisito Prescrittivo (Art. 4 comma 19)

Obbligo di sistemi schermanti delle superfici vetrate;

Qualora se ne dimostri la non convenienza in termini tecnico-economici, detti sistemi possono essere omessi in presenza di superfici vetrate con fattore solare (UNI EN 410) $\leq 0,5$. Tale valutazione deve essere evidenziata nella relazione tecnica.

Requisito Prescrittivo (Art. 4 comma 20)

Valuta puntualmente e documenta l'efficacia dei sistemi filtranti o schermanti delle superfici vetrate, tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare. Gli eventuali impedimenti di natura tecnica ed economica devono essere evidenziati nella relazione tecnica. La valutazione può essere omessa in presenza di superfici vetrate con fattore solare (UNI EN 410) $\leq 0,5$.

2.12.13 ORGANI DI REGOLAZIONE

Obbligo di installare **dispositivi per la regolazione automatica** della T_{amb} nei singoli locali o zone con caratteristiche d'uso ed esposizione uniformi per evitare sovra riscaldamento per effetto degli apporti gratuiti e solari per **tutti** gli edifici e impianti termici nuovi e ristrutturati (art. 4 comma 21).

Vi è l'**obbligo di utilizzo di fonti rinnovabili** per la produzione di energia termica ed elettrica per edifici pubblici e privati (vedi anche quanto indicato dal D.Lgs. 28/2011 sull'uso delle *Fonti Energetiche Rinnovabili, FER*) in particolare per tutti gli edifici di nuova costruzione o per impianti termici di nuova installazione o di ristrutturazione di quelli esistenti l'impianto termico di produzione di ACS deve coprire almeno il 50% del fabbisogno di energia annua.

Tale limite è ridotto al 20% per edifici situati nei centri storici (comma 22).

Obbligo di impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica per tutti gli edifici nuovi e ristrutturati integralmente da definire con i decreti attuativi di cui all'art.4 comma 1 del D.Lgs n.192 (comma 23). Questo obbligo è quantificato nel D.Lgs. 28/2011 nella relazione:

$$P = \frac{S_{pianta}}{K} \quad kW$$

Ove K assume il valore attuale di 80 ma sarà 65 dal 1/01/2014 e 50 dal 1/01/2017.

Le valutazioni concernenti il dimensionamento ottimale, o l'eventuale impossibilità tecnica di rispettare le presenti disposizioni, devono essere dettagliatamente illustrate nella relazione tecnica. In mancanza di tali elementi conoscitivi, la relazione è dichiarata irricevibile.

Obbligo di predisposizione di opere rivolte a favorire il collegamento a reti di teleriscaldamento, nel caso di presenza di tratte di rete inferiori a 1000 m o in presenza di progetti approvati nell'ambito di opportuni strumenti pianificatori per tutti gli edifici pubblici o privati nuovi e ristrutturati integralmente $\geq 1000 \text{ m}^2$.

2.12.14 RELAZIONI TECNICHE

Il progettista dovrà inserire i calcoli e le verifiche previste nella relazione attestante la rispondenza alle prescrizioni per il contenimento del consumo di energia degli edifici e relativi impianti termici, che, ai sensi dell'articolo 28, comma 1, della legge n. 10/91, il proprietario dell'edificio, o chi ne ha titolo, deve depositare presso le amministrazioni competenti secondo le disposizioni vigenti, in doppia copia, insieme alla denuncia dell'inizio dei lavori relativi alle opere di cui agli articoli 25 e 26 della stessa legge (art. 4 comma 25).

Schemi e modalità di riferimento per la compilazione delle relazioni tecniche sono riportati nell'allegato e al D.Lgs n. 192 e s.m.i.

Ai fini della più estesa applicazione dell'articolo 26, comma 7, della legge n. 10/91, negli enti soggetti all'obbligo dell'energy manager tale relazione progettuale dovrà essere obbligatoriamente integrata attraverso attestazione di verifica sulla applicazione della norma predetta a tale fine redatta dal energy manager nominato (art. 4 comma 25).

I calcoli e le verifiche necessari al rispetto del decreto sono eseguiti utilizzando metodi che garantiscano risultati conformi alle migliori regole tecniche.

Si considerano rispondenti a tale requisito le norme tecniche predisposte dagli organismi deputati a livello nazionale o comunitario, quali ad esempio l'UNI e il CEN, o altri metodi di calcolo recepiti con decreto del MSE.

2.12.15 METODOLOGIE DI CALCOLO

Art. 3 commi 1 e 2

Per le metodologie si fa riferimento alle seguenti norme tecniche:

- **UNI TS 11300 prestazioni energetiche degli edifici – parte 1: determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;**
- **UNI TS 11300 prestazioni energetiche degli edifici – parte 2: determinazione dell'energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria, ACS;**

Ai fini della certificazione degli edifici, le metodologie per il calcolo della prestazione energetica, sono riportate nelle linee guida nazionali.

Gli strumenti di calcolo applicativi delle metodologie precedenti (software commerciali) devono garantire che gli indici di prestazione energetica abbiano uno scostamento massimo di $\pm 5\%$, rispetto ai corrispondenti parametri determinati con lo strumento nazionale di riferimento. Questa garanzia è fornita attraverso verifica e dichiarazione di CTI o UNI.

Il CTI deve predisporre lo strumento di riferimento nazionale ai fini della garanzia precedente.

Nelle more del rilascio di tale dichiarazione, la stessa è sostituita da autodichiarazione del produttore dello strumento di calcolo, in cui compare il riferimento della richiesta di verifica e dichiarazione avanzata al CTI o all'UNI.

Per una descrizione dettagliata delle UNI TS 11300 si rimanda al successivo capitolo.

2.13 NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO

La metodologia di calcolo adottata dovrà garantire risultati conformi alle migliori regole tecniche, a tale requisito rispondono le normative UNI e CEN vigenti in tale settore.

Gli aggiornamenti delle norme tecniche riportate nel presente allegato o le eventuali norme sostitutive subentrano direttamente alle corrispondenti norme dell'elenco che segue.

2.13.1 FABBISOGNO ENERGETICO PRIMARIO

UNI 10339 Impianti aeraulici ai fini del benessere. Generalità classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.

UNI 10347, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Energia termica scambiata tra una tubazione e l'ambiente circostante – Metodo di calcolo

UNI 10348, Riscaldamento degli edifici – Rendimenti dei sistemi di riscaldamento – Metodo di calcolo

UNI EN ISO 13790, Prestazione termica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento

UNI TS 11300 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, e successive modificazioni;

UNI TS 11300 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione dell'energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda per usi igienico-sanitari, e successive modificazioni.

2.13.2 PRESTAZIONI DEI COMPONENTI EDILIZI

UNI EN ISO 6946, Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo

UNI EN ISO 13786, Prestazione termica dei componenti per edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di calcolo

UNI EN ISO 13789, Prestazione termica degli edifici – Coefficiente di perdita di calore per trasmissione – Metodo di calcolo

UNI EN ISO 13370, Prestazione termica degli edifici – Trasferimento di calore attraverso il terreno – Metodi di calcolo

UNI EN ISO 10077-1, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure – Calcolo della trasmittanza termica – Generalità

UNI EN ISO 10077-2, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure – Calcolo della trasmittanza termica – Metodo numerico per i telai

UNI EN ISO 13788, Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per l'edilizia. Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale – Metodo di Calcolo

UNI EN 1745:2005 – Muratura e prodotti per muratura – Metodi per determinare i valori termici di progetto

EN 15603 “Energy performance of buildings – Overall energy use and definition of energy ratings”

EN15265 “Energy performance of buildings – calculation of energy use for space heating and cooling – General criteria and validation procedures”

2.13.3 VENTILAZIONE E INFILTRAZIONI D'ARIA

UNI EN 13465 Ventilazione degli edifici – Metodi di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici residenziali

UNI EN 13779 Ventilazione negli edifici non residenziali – Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di condizionamento

EN 15242 "Ventilation for buildings - Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration"

2.13.4 PONTI TERMICI

UNI EN ISO 10211-1, Ponti termici in edilizia – Calcolo dei flussi termici e delle temperature superficiali – Metodi generali

UNI EN ISO 10211-2, Ponti termici in edilizia – Calcolo dei flussi termici e delle temperature superficiali – Ponti termici lineari

UNI EN ISO 14683, Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimenti

2.13.5 VALUTAZIONI PER IL PERIODO ESTIVO

UNI 10375, Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti

UNI EN ISO 13791, Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione – Criteri generali e procedure di validazione

UNI EN ISO 13792, Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione – Metodi semplificati

2.13.6 SCHERMATURE ESTERNE

UNI EN 13561, Tende esterne requisiti prestazionali compresa la sicurezza (in obbligatorietà della marcatura CE)

UNI EN 13659, Chiusure oscuranti requisiti prestazionali compresa la sicurezza (in obbligatorietà della marcatura CE)

UNI EN 14501, Tende e chiusure oscuranti - Benessere termico e visivo - Caratteristiche prestazionali e classificazione

UNI EN 13363-1 Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa - Metodo semplificato

UNI EN 13363-2 Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa, metodo di calcolo dettagliato

UNI 11235, Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde.

2.13.7 BANCHE DATI E NORME DI SUPPORTO

UNI 10349, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici

UNI 10351, Materiali da costruzione – Conduttività termica e permeabilità al vapore

UNI 10355, Murature e solai – Valori della resistenza termica e metodo di calcolo

UNI EN 410, Vetro per edilizia – Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate

UNI EN 673, Vetro per edilizia – Determinazione della trasmittanza termica (valore U) - Metodo di calcolo

UNI EN ISO 7345, Isolamento termico – Grandezze fisiche e definizioni

UNI EN ISO 15927-1, Prestazione termo igrometrica degli edifici – Calcolo e presentazione dei dati climatici – Medie mensili dei singoli elementi meteorologici

UNI 8065, Trattamento dell'acqua negli impianti termici ad uso civile

2.13.8 VETRI

UNI EN 12400:2004 “Finestre e porte. Durabilità meccanica. Requisiti e classificazione”: individua una classificazione delle finestre apribili e delle porte pedonali a seconda della prestazione nei confronti delle aperture e chiusure ripetute.

UNI EN ISO 10077:2002 “Prestazione termica di finestre, porte e chiusure. Calcolo della trasmittanza termica”: specifica i metodi di calcolo della trasmittanza termica di finestre e porte. Si applica a diversi tipi di vetrate (vetri, plastiche, vetrate singole o multiple, ...) e di telai (legno, metallo, misti, PVC).

UNI ENV 1627:2000 “Finestre, porte, chiusure oscuranti. Resistenza all'effrazione. Requisiti e classificazione”: definisce i requisiti e la classificazione per le proprietà della resistenza all'effrazione di porte, di finestre e oscuranti.

UNI EN 1522:2000 “Finestre, porte e chiusure oscuranti. Resistenza al proiettile. Requisiti e classificazione”: individua i requisiti e la classificazione che finestre, porte e chiusure oscuranti devono soddisfare quando sottoposte a prova in conformità alla EN 1523 sulla resistenza al proiettile.

UNI EN 12207:2000 “Finestre e porte. Permeabilità all'aria. Classificazione”: definisce la classificazione dei risultati di prova di finestre e porte sottoposte alla prova di permeabilità all'aria.

UNI EN 12208:2000 “Finestre e porte. Tenuta all'acqua. Classificazione”: definisce la classificazione dei risultati di prova di finestre e porte sottoposte alla prova di tenuta all'acqua.

UNI EN 12210:2000 “Finestre e porte. Resistenza al carico del vento. Classificazione”: definisce la classificazione dei risultati di prova di finestre e porte sottoposte alla prova di resistenza al carico del vento.

UNI 10818:1999 “Finestre, porte e schermi. Linee guida generali per la posa in opera”: fornisce una guida allo sviluppo delle diverse fasi di posa in opera di serramenti di ogni tipo, individuando competenze e limiti dei diversi operatori che intervengono nel processo.

2.14 D.LGS. 28/2011 (PROMOZIONE DELLE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILE, FER)

Il D.Lgs. 03/03/2011 N. 28 recepisce la direttiva europea 2009/28/CE che promuove l'utilizzo delle fonti di energia rinnovabile.

Questo decreto legislativo introduce un quadro di riferimento normativo per il raggiungimento delle quote complessive di energie rinnovabili fino all'anno 2020 (si ricordi a tal proposito la direttiva europea clima - energia 20/20/20) e in particolare viene confermato il raggiungimento del limite del 17% di energia da fonti rinnovabili entro il 2020.

Al fine di accelerare l'iter autorizzativi il decreto fissa in 90 giorni il termine massimo per la conclusione del procedimento, al netto dei tempi previsti per la valutazione di impatto ambientale. Inoltre la pratica della DIA (Dichiarazione Inizio attività) viene sostituita da una "*procedura abilitativa semplificata*". Continua ad applicarsi - nelle modalità previste dalle Linee guida nazionali - la "comunicazione relativa alle attività in edilizia libera". Prevista la possibilità per le Regioni di estendere la procedura semplificata anche agli impianti fino a 1 MW.

È sufficiente la comunicazione di inizio lavori per gli *impianti solari termici* installati sugli edifici. Gli interventi di installazione di impianti di produzione di energia termica da fonti rinnovabili (diversi dagli impianti solari termici e dagli impianti geotermici), realizzati negli edifici esistenti e negli spazi liberi privati annessi e destinati unicamente alla produzione di acqua calda e di aria, sono soggetti alla comunicazione di inizio lavori.

L'installazione di pompe di calore da parte di installatori qualificati, destinate unicamente alla produzione di acqua calda e di aria negli edifici esistenti e negli spazi liberi privati annessi, è considerata estensione dell'impianto idrico-sanitario già in opera.

Gli impianti a fonti rinnovabili accedono agli incentivi statali solo se rispettano i requisiti e le specifiche tecniche indicate nell'allegato 2 del decreto, fatte salve le diverse ricorrenze indicate nel medesimo allegato 2.

2.14.1 INTEGRAZIONE DELLE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILI (FER)

Fra le tante innovazioni introdotte da questo D.Lgs. alcune riguardano l'obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici (art. 11e 12).

Si osserva che questo decreto è obbligatorio. La mancata dichiarazione della Quota Rinnovabile (QR) comporta l'automatico decadimento del titolo edilizio.

L'allegato 3 del decreto definisce un calendario per il raggiungimento di aliquote di copertura con fonti di energia rinnovabili qui riportato:

- 20% dal 31/05/2012 al 31/12/2013;
- 35% dal 1/1/2014 al 31/12/2016;
- 50% dal 1/1/2017.

La potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili (installati sopra o all'interno degli edifici o nelle aree di pertinenza) per edifici nuovi o con ristrutturazioni rilevanti (> 1000 m²) è calcolata secondo la relazione:

$$P = \frac{S}{K}$$

con S superficie in pianta dell'edificio, in m² e K pari a:

- 80 ***dal 31/05/2012 al 31/12/2013 (quindi è già in vigore)***
- 65 *dal 1/1/2014 al 31/12/2016*
- 50 *dal 1/1/2017.*

Questi nuovi limiti sostituiscono quelli previsti nel D.P.R. 59/09 che sono, pertanto, abrogati. Per gli edifici pubblici questi limiti sono incrementati del 10%. Per gli edifici alimentati con teleriscaldamento non si applicano questi limiti. Nel caso di infattibilità tecnica comprovata di ottemperare all'obbligo di integrazione con fonti di energia rinnovabili occorre fare in modo che l'indice di prestazione energetica complessiva sia inferiore al valore dato da:

$$I \leq I_{192} \cdot \frac{1}{2} \frac{\%_{effettiva} \cdot P_{effettiva}}{\%_{obbligo} \cdot P_{obbligo}}$$

ove:

- I_{192} è l'indice di prestazione energetica ai sensi del D.Lgs. 192/05 (kWh/m² per residenziali o kWh/m³ per edifici non residenziali);
- $\%_{obbligo}$ percentuale della somma dei consumi previsti per l'ACS, riscaldamento e raffrescamento che deve essere coperta da fonti rinnovabili;
- $\%_{effettiva}$ percentuale effettivamente raggiunta nell'edificio;
- $P_{obbligo}$ potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili che debbono essere obbligatoriamente installati;
- $P_{effettiva}$ potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili effettivamente installata nell'edificio.

Il decreto legislativo 28/2011 prevede anche un bonus volumetrico del 5% per edifici nuovi o ristrutturati (> 1000 m²) che assicurino una copertura energetica (calore e/o elettricità) da fonti rinnovabili superiore di almeno il 30% rispetto ai valori minimi sopra indicati.

Infine si ha un ulteriore aggiornamento sulla notifica della certificazione energetica nei contratti di compravendita o di locazione. In particolare occorre che l'acquirente o il locatario dichiari di aver ricevuto le informazioni e la documentazione relativi alla certificazione energetica dell'immobile in contratto. E' anche fatto obbligo di allegare l'ACE (*Attestato di Certificazione Energetica*)³³ ai contratti di locazione se l'edificio o l'unità immobiliare ne è sprovvisto.

Infine dal 1/1/2012 gli annunci commerciali di vendita debbono riportare l'indice di prestazione energetica contenuto nell'ACE. In pratica si va verso una obbligatoria rendicontazione dell'ACE in toni più garbati e comunque tali da non fermare le procedure notarili di acquisto.

Sull'applicazione del D.Lgs. 28/2011 si parlerà nei successivi capitoli.

Norma UNI TS 11300 Parte 4°

La norma UNI TS11300 Parte 4° indica le procedure da utilizzare per l'utilizzo delle fonti di energia rinnovabili e come tenerne conto anche ai fini della verifica energetica.

Questo argomento richiede la conoscenza preliminare delle problematiche derivanti dall'utilizzo di quelle fonti energetiche. Il Volume 4° tratta in modo specifico questi argomenti e pertanto l'esposizione della UNI TS 11300/4 è rimandata in quella sede.

2.15 LE RACCOMANDAZIONI DEL CTI

Si esaminano brevemente le Raccomandazioni del CTI 09/2012 e 14/2013 che rivestono importanza per l'utilizzo delle FER.

2.15.1 SIMBOLISMO UTILIZZATO NELLE NORMATIVE

I simboli utilizzati nelle normative europee ed italiane di ultima generazione sono qui riassunte nelle seguenti tabelle.

Voce	Simbolo	Unità di misura
Fabbisogno di energia	Q	kWh

Tabella 29: Simboli per unità di misura

³³ Per effetto del DL 63/2013 l'Attestato di Certificazione Energetica, ACE, è sostituito dall'Attestato di Prestazione Energetica, APE, indicato dalla direttiva 2010/31/CE.

Voce	Pedice
Climatizzazione invernale	H
Acqua calda sanitaria	W
Climatizzazione estiva	C
Ventilazione	V
Illuminazione	L
Vettore energetico	i
Servizio energetico in esame	k
Altro servizio energetico attivo contestualmente a quello in esame dal quale si considera energia recuperata	j
Mese	m
Anno	an
Globale	gl
Perdite o energia elettrica ausiliaria esclusa la generazione	ngn
Energia termica utile ideale	nd
Energia elettrica	el
Energia da fonti energetiche rinnovabili "on site"	os
Energia da vettori energetici rinnovabili "off site"	ofs
Energia da unità cogenerative	CG
Energia primaria	P
Energia netta	net
Energia non rinnovabile	nren
Energia rinnovabile	ren
Energia consegnata	del
Energia riconsegnata	rdel
Energia lorda	gross
Energia utilizzata	used
Recupero termico	rec

Tabella 30: prospetto dei pedici

2.16 CONTRIBUTO DELLA RACCOMANDAZIONE 09/2012 DEL CTI

La Raccomandazione 09/2012 (della quale si parlerà nel prosieguo in dettaglio) cerca di superare questa difficoltà.

Essa, infatti, dice che ai fini del calcolo (secondo la stessa Raccomandazione) il valore di SPF (*Seasonal Performance Factor*) si ottiene in base al **valore stagionale medio** derivante dal calcolo su base mensile secondo UNI TS 11300-4³⁴ e si considera il rendimento medio di produzione del sistema elettrico nazionale dato dal prospetto seguente ($f_{p,ren} = f_p = 2.18$).

Energia fornita da vettori energetici finali "off site"	$f_{p,ren}$	$f_{p,nren}$	f_p
Gas naturale	0	1,02	1,02
GPL	0	1,10	1,10
Olio combustibile	0	1,10	1,10
Biomasse solide, liquide e gassose	0,90	0,20	1,10
Energia elettrica da rete	0	2,18	2,18
Energia termica da rete (teleriscaldamento) ⁽¹⁾	0	1,20	1,20
Energia da fonti energetiche "on site"	$f_{p,ren}$	$f_{p,nren}$	f_p
Energia captata da irradiazione solare	1,00	0	1,00
Energia termica prelevata dall'ambiente	1,00	0	1,00
Energia esportata ⁽²⁾	$f_{p,ren}$	$f_{p,nren}$	f_p
Energia elettrica	0	2,18	2,18

⁽¹⁾ In assenza di valori dichiarati dal fornitore.

⁽²⁾ NOTA: l'energia esportata non è rilevante ai fini del calcolo di QR e probabilmente non verrà citata nella versione finale del documento..

³⁴ Si vedrà nel prosieguo questo calcolo.

Tabella 31: Prospetto indicato dalla Raccomandazione 09/2012

Il metodo di verifica della copertura con fonte rinnovabile è strettamente legato alla scelta relativa ai fattori di conversione in energia primaria. Di seguito ne vengono illustrati alcuni.

2.16.1 VERIFICA DEL GRADO DI COPERTURA CON IL METODO DELL'ENERGIA PRIMARIA TOTALE

Se si utilizzano i fattori di conversione in energia primaria totale, per determinare il grado di copertura con fonti rinnovabili, occorre fare l'inventario di tutti i vettori energetici $E_{del,i}$ consegnati all'impianto.

Si calcolano poi in sequenza:

- L'energia primaria totale EP_{TOT} ottenuta moltiplicando ciascuna quantità di energia consegnata $E_{del,i}$ per il rispettivo fattore di conversione in energia totale $f_{p,tot,i}$

$$EP_{TOT} = \sum_i (E_{del,i} \times f_{p,tot,i})$$

- Questo termine, che comprende anche la radiazione solare e gli altri contributi da Fonti Rinnovabili;
- L'energia primaria non rinnovabile EP_{NREN} ottenuta moltiplicando ciascuna quantità di energia consegnata $E_{del,i}$ per il rispettivo fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile $f_{p,nren,i}$:

$$EP_{NREN} = \sum_i (E_{del,i} \times f_{p,nren,i});$$

- Il grado di copertura con fonti rinnovabili $FR\%$ è dato allora da

$$QR = (EP_{TOT} - EP_{NREN}) / EP_{TOT}$$

È sufficiente un solo calcolo del sistema edificio/impianto. Occorre però definire un insieme di fattori in energia primaria totale attualmente mancanti in Italia.

Questo metodo consente di includere fra i flussi energetici in ingresso anche l'energia catturata dall'ambiente dalle pompe di calore. La definizione di energia primaria legalmente rinnovabile comporta che i fattori di conversione in energia primaria totale e rinnovabile dell'energia catturata dall'ambiente esterno valgano entrambi 1,0

Un difetto di questo metodo è la penalizzazione delle pompe di calore ad assorbimento rispetto a quelle a compressore azionate da motore elettrico.

2.17 RACCOMANDAZIONE 14/2013 DEL CTI

Questa norma definisce la prestazione energetica degli edifici e in particolare indica come calcolare il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile (kWh) dell'edificio con la relazione:

$$Q_{P,nren,gl} = \sum_k (Q_{P,nren,k}) = Q_{P,nren,H} + Q_{P,nren,C} + Q_{P,nren,W} + Q_{P,nren,V} + Q_{P,nren,L} \quad (31)$$

Ove tutti i termini sono in kWh e sono così definiti:

- $Q_{P,nren,gl}$ è l'energia primaria non rinnovabile globale;
- $Q_{P,nren,k}$ è l'energia primaria non rinnovabile per il servizio energetico k.mo;
- $Q_{P,nren,H}$ è l'energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale;
- $Q_{P,nren,C}$ è l'energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione estiva;

- $Q_{P,nren,W}$ è l'energia primaria non rinnovabile per la produzione di ACS;
- $Q_{P,nren,V}$ è l'energia primaria non rinnovabile per la ventilazione;
- $Q_{P,nren,L}$ è l'energia primaria non rinnovabile per l'illuminazione.

L'energia primaria si calcola tenendo conto dell'energia consegnata (*delivered*) e dell'energia esportata (*exported*) per ciascun vettore energetico i secondo la relazione:

$$Q_k = \sum_i (Q_{del,i,k} \cdot f_{P,del,i}) - \sum_i (Q_{exp,i,k} \cdot f_{P,exp,i}) \quad (32)$$

Ove tutti i termini sono espressi in kWh ed hanno i seguenti significati:

- $Q_{del,i,k}$ è l'energia consegnata del vettore energetico i ;
- $Q_{exp,i,k}$ è l'energia esportata del vettore energetico i ;
- $f_{P,del,i}$ è il fattore di energia primaria consegnata del vettore energetico i ;
- $f_{P,exp,i}$ è il fattore di energia primaria esportata del vettore energetico i .

I fattori di energia primaria f_P possono essere eguali o diversi per energia consegnata o esportata.

Su base annuale l'energia consegnata e l'energia esportata per singolo vettore energetico viene calcolata sommando i contributi mensili per ciascuna tipologia.

Il fabbisogno mensile di energia elettrica per il k.mo servizio energetico si calcola mediante la relazione:

$$Q_{el,in,gl,m} = \sum_k Q_{k,aux,el,ngn,m} + \sum_k Q_{k,aux,ele,gn,m} + \sum_k Q_{k,el,gn,m}$$

Ove ciascun termine è espresso in kWh ed ha il seguente significato:

- $Q_{k,aux,el,ngn,m}$ Energia elettrica mensile per gli impianti ausiliari di non generazione;
- $Q_{k,aux,el,gn,m}$ Energia elettrica mensile per gli impianti ausiliari di generazione;
- $Q_{k,el,gn,m}$ Energia elettrica mensile in ingresso ai generatori (ad es. pompe di calore elettriche).

I fabbisogni di energia dell'edificio possono essere soddisfatti attraverso:

- *Energia rinnovabile captata o prelevata in loco, definita come energia rinnovabile "on site";*
- *Energia consegnata da vettori energetici che può comprendere energia non rinnovabile ed energia rinnovabile "off site".*

Attraverso l'energia rinnovabile *on site* si può produrre energia termica o energia elettrica.

Attraverso i vettori energetici si può produrre energia termica ed elettrica con generazione combinata (*cogenerazione*).

La quota di energia termica o di energia elettrica prodotta con vettori energetici rinnovabili è definita *energia rinnovabile off site*.

Possiamo dunque avere due casi:

- *Energia rinnovabile "on site";*
- *Energia rinnovabile "off site".*

Le produzioni di energia elettrica da fonti rinnovabili on site e off site si sommano al fine della procedura di calcolo.

Legenda

- 1 Utilizzazione (fabbisogno di energia termica)
- 2 Accumulo
- 3 Generatore
- 4 Vettore energetico primario
- 5 Energia elettrica
- 6 Energia per ausiliari
- 7 Collettori solari termici
- 8 Pannelli fotovoltaici
- 9 Energia termica utile fornita da rete
- 10 Energia termica utile esportata
- 11 Sistema di dissipazione del calore
- 12 Energia elettrica esportata da cogenerazione
- 13 Energia elettrica esportata da fotovoltaico
- 14 Rete elettrica pubblica
- 15 Confine del sistema

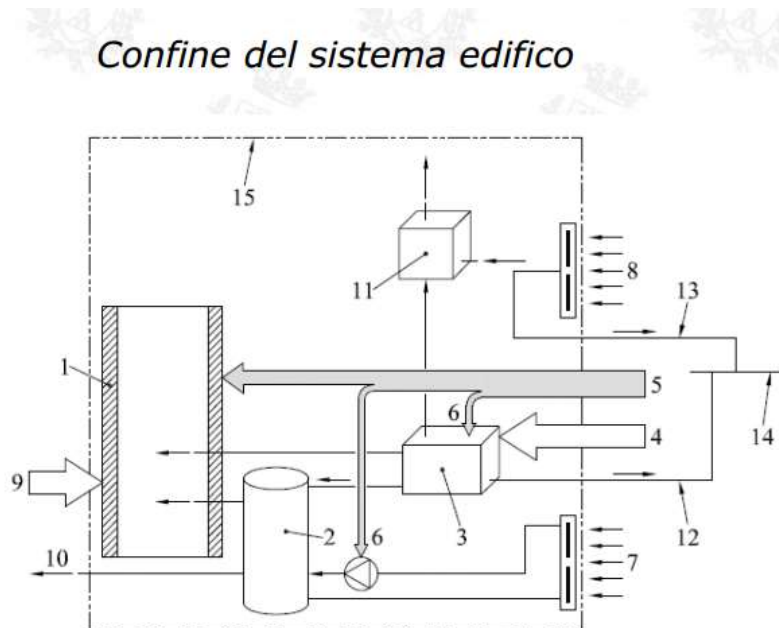


Figura 59: Definizione del confine dell'edificio

2.17.1 ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI ON SITE

Si considerano fonti di energia rinnovabili *on site*:

- *Energia solare captata entro il confine del sistema da collettori solari termici e trasformata in energia termica utile;*
- *Energia solare captata entro il confine del sistema da pannelli fotovoltaici e convertita in energia elettrica;*
- *Energia meccanica trasformata in energia elettrica da micro generatori eolici (attualmente non trattati dalle UNI TS 11300) o eventuali altri sistemi di generazione "on site";*
- *Energia prelevata entro il confine del sistema da fonte aerotermica, geotermica, idrotermica utilizzata direttamente oppure riqualificata mediante pompa di calore in energia a più elevata entalpia (ad esempio con unità esterne per prelievo di energia dall'aria, sonde geotermiche per prelievo di energia dal terreno, etc.)*

Il calcolo dell'energia termica e elettrica prodotta da fonte *on site* si effettua secondo le procedure indicate dalla UNI TS11300/4. Nel caso di energia termica si prevede che questa sia immessa nel punto di collegamento fra generazione ed utilizzazione, ossia in ingresso all'accumulo o alla distribuzione *riducendo il fabbisogno di energia termica fornito dalla generazione.*

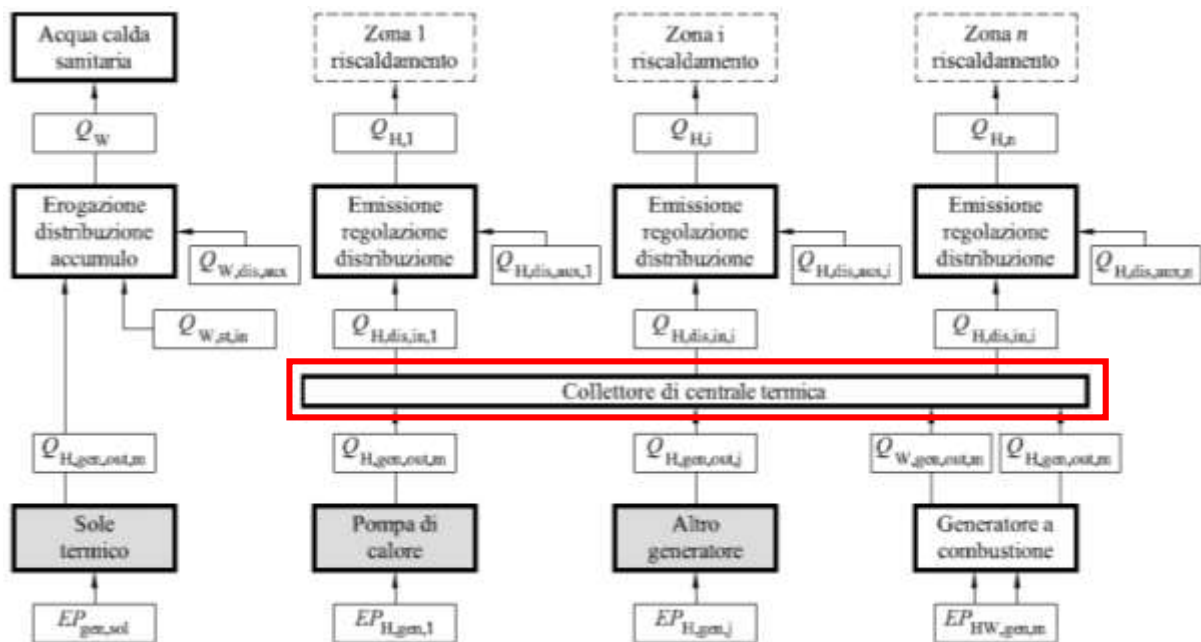


Figura 60: Punto di fornitura delle energie rinnovabili on site

L'energia aerotermica, geotermica ed idrotermica prelevata *on site* e riqualificata attraverso pompe di calore è valutata attraverso l'efficienza della macchina.

L'energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile *on site* si sottrae dal fabbisogno mensile di energia elettrica e può ridurre o annullare il fabbisogno consegnato da rete oppure dar luogo ad un surplus. Qualora l'energia rinnovabile interessi due servizi, come ad esempio climatizzazione invernale (*riscaldamento*) e produzione di acqua calda sanitaria (ACS), si ripartisce l'energia *on site* tra i servizi in proporzione al fabbisogno di energia termica in ingresso alla distribuzione di ciascun servizio.

2.17.2 GENERATORI DA PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA

L'energia termica utile netta richiesta in uscita dai generatori si calcola con la relazione:

$$Q_{k,i,gnout,net,m} = Q_{k,d,in,i,m} - Q_{k,os,m}$$

Ove ciascun termine è espresso in kWh con i seguenti significati:

- $Q_{k,i,gnout,net,m}$ energia termica mensile netta in uscita dal generatore i .mo;
- $Q_{k,d,in,i,m}$ energia termica utile mensile richiesta alla distribuzione del vettore i ;
- $Q_{k,os,m}$ energia termica utile mensile ricevuta da fonte rinnovabile "on site".

Nel caso di pompa di calore si considera solamente la richiesta di energia $Q_{k,d,in,i,m}$.

2.17.3 GENERATORI DI ENERGIA COMBINATA

Si fa riferimento alla UNI TS 11300/4 e in particolare si ha la seguente procedura.

Per unità di cogenerazione alimentati da combustibili non rinnovabili si effettuano le seguenti operazioni:

- Si calcola il fabbisogno mensile di energia (kWh) in ingresso al cogeneratore per la combustione richiesto dal vettore non rinnovabile i ;
- Si calcola l'energia elettrica prodotta mensilmente al netto dei consumi ausiliari;

- Si calcola l'energia primaria mensile in ingresso al cogeneratore deducendo dal consumo effettivo la produzione netta di energia elettrica calcolata come al punto precedente, tenendo conto del fattore di energia elettrica esportata;
- Ai fini della determinazione dell'energia elettrica consegnata alla rete non si tiene conto dell'energia elettrica netta cogenerata e il fabbisogno elettrico dell'edificio viene considerato fornito dalla rete.

2.17.4 CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA

Il fabbisogno di energia primaria di ciascun vettore energetico, ad eccezione dell'energia elettrica, si calcola mediante la relazione:

$$Q_{del,i,k,an} = \sum_m Q_{del,i,k,m}$$

Il fabbisogno annuo di energia elettrica consegnata ed esportata si calcola tenendo conto dei fattori di energia di Tabella 32.

2.17.5 NUOVI FATTORI DI ENERGIA PRIMARIA

I fattori di trasformazione riportati dalla Raccomandazione 14/2013 del CTI sono leggermente diversi da quelli della Raccomandazione 09/2012.

Vettore energetico	$f_{p,nren}$	$f_{p,ren}$	f_p
Gas naturale	1	0	1
GPL	1	0	1
Olio combustibile	1	0	1
Biomasse solide, liquide e gassose*	0,3	0,7	1
Energia elettrica da rete	2,174	0	2,174
Teleriscaldamento	**	-	-

* come definite dall'allegato X del D.Lgs 152 del 3 aprile 2006
 ** valore dichiarato dal fornitore

Tabella 32: Fattori di energia primaria dei vettori energetici della R. 14/13 CTI

In particolare vengono modificati i fattori energetici per le biomasse e per l'energia elettrica di rete che ora ha $f_p=2.174$ con un rendimento elettrico $\eta=0.46$.

Energia elettrica esportata da fotovoltaico $f_{p,el,exp,FV}$	0
Energia elettrica esportata da cogenerazione $f_{p,el,exp,CG}$ * (combustibili non rinnovabili)	2,174

* fattore da utilizzare per il calcolo al punto 9.2.2. Il fattore è basato sul rendimento di produzione della rete elettrica nazionale pari a 0,46 con combustibili non rinnovabili.

Tabella 33: fattori di energia primaria dell'energia elettrica esportata

2.18 RIEPILOGO DELLE VERIFICHE DA EFFETTUARE PER I DD.LLGG.SS 192/05 E 28/2011

Al fine di effettuare le verifiche energetiche degli edifici si riassumono i passi fondamentali richiesti dalle norme e leggi vigenti.

2.18.1 VERIFICHE AI SENSI DEL D.LGS. 192/05 E DPR 59/09

Occorre verificare che:

1. L' EP_{ci} dell'edificio sia inferiore all' $EP_{i,lim}$;
2. Che la produzione di acqua calda sia coperta, su base annuale, per almeno il 50% da energia solare (DM 59/09);

Il secondo requisito può non essere soddisfatto per giustificati (ad esempio indisponibilità di superficie utile, edifici storici, ...) motivi da inserire nella relazione tecnica.

2.18.2 VERIFICHE AI SENSI DEL D.LGS. 28/2011

Occorre verificare che:

1. Si abbia una quota di energia rinnovabile (QR) superiore al valore in vigore (attualmente il 20%), dal 01/01/2014 il 35%);
2. Che si produca energia elettrica con pannelli fotovoltaici con potenza $P=S/K$ kW.

Nel caso in cui uno o entrambi i requisiti non siano soddisfatti viene ridotto l' $EP_{i,lim}$ con la relazione vista in precedenza in funzione delle percentuali effettive e delle potenze effettive.

2.19 USO DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI

La potenza elettrica P degli impianti alimentati **da fonti rinnovabili** che devono essere obbligatoriamente installati sopra o all'interno dell'edificio o nelle relative pertinenze, misurata in kW, è calcolata secondo la seguente formula:

$$P = \frac{S}{K}$$

dove:

- S è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno, misurata in m^2 ,
- K è un coefficiente (m^2/kW) che assume i seguenti valori: 80, 65 e 50 (in pratica 100 m^2 di superficie dovranno dare, a pieno regime del decreto, 2 kW)

Questa prescrizione comporta di fatto l'installazione *preferenziale* di pannelli solari fotovoltaici.

Una veloce verifica per la zona climatica di Catania mostra come servano circa 9 m^2 per ottenere un kWp di potenza fotovoltaica e pertanto occorre coprire con pannelli fotovoltaici circa il 16% del tetto, oltre a dover utilizzare un po' di quello che resta per qualche pannello solare termico (per coprire almeno il 50% di acqua calda sanitaria) e sperare che ciò basti per soddisfare gli obblighi di copertura dei consumi con energia da fonte rinnovabile.

La prescrizione dovrebbe essere riferita alla superficie utile riscaldata per coerenza con altre disposizioni ma ciò dovrebbe essere precisato dal legislatore. In modo cautelativo si può considerare tutta la superficie utile in pianta.

2.19.1 OBBLIGO DI INTEGRAZIONE SUI TETTI

Il D.Lgs. 28/2011, a proposito di utilizzo di pannelli fotovoltaici, così recita (All. 3, comma 4):

In caso di utilizzo di pannelli solari termici o fotovoltaici disposti sui tetti degli edifici, i predetti componenti devono essere aderenti o integrati nei tetti medesimi, con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda.

Quindi i pannelli solari termici e fotovoltaici solo se hanno la stessa inclinazione della falda.

Si tratta di una prescrizione architettonica che nulla ha a che vedere con l'efficienza energetica. Anzi, in caso di tetti piani o poco inclinati, non è una soluzione energeticamente corretta. Questa prescrizione appare antitetica con lo scopo di utilizzare più efficacemente la fonte solare.

2.20 EDIFICI A QUASI ZERO ENERGIA - DIRETTIVA 2010/31/CE

La nuova direttiva europea nasce dall'esigenza di ridurre i consumi energetici del 20% entro il 2020 incidendo sul 40% di consumi energetici per l'edilizia. Essa, pertanto, indica una direzione di intervento proprio in questo settore. La direttiva prende spunto anche dalla direttiva detta Clima – Energia 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia rinnovabile per promuoverne l'utilizzo in modo da raggiungere la riduzione del 20% dell'energia globale consumata entro il 2020.

Entrambi gli interventi, riduzione dei consumi energetici e utilizzo di fonti rinnovabili, prevedono la promozione dell'efficienza energetica nell'edilizia fino al punto da introdurre il concetto di "*edifici a energia quasi zero*" a partire dal 2020. L'edificio a energia quasi zero è un edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente all'allegato I della direttiva stessa. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze.

La prestazione energetica degli edifici dovrebbe essere calcolata in base ad una metodologia che potrebbe essere differenziata a livello nazionale e regionale. Ciò comprende, oltre alle caratteristiche termiche, altri fattori che svolgono un ruolo di crescente importanza, come il tipo di impianto di riscaldamento e condizionamento, l'impiego di energia da fonti rinnovabili, gli elementi passivi di riscaldamento e rinfrescamento, i sistemi di ombreggiamento, la qualità dell'aria interna, un'adeguata illuminazione naturale e le caratteristiche architettoniche dell'edificio. Tale metodologia di calcolo dovrebbe tener conto della prestazione energetica annuale di un edificio e non essere basata unicamente sul periodo in cui il riscaldamento è necessario. Essa dovrebbe tener conto delle norme europee vigenti.

La direttiva afferma che è di esclusiva competenza degli Stati membri fissare requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi. Tali requisiti dovrebbero essere fissati in modo da conseguire un equilibrio ottimale in funzione dei costi tra gli investimenti necessari e i risparmi energetici realizzati nel ciclo di vita di un edificio, fatto salvo il diritto degli Stati membri di fissare requisiti minimi più efficienti sotto il profilo energetico dei livelli di efficienza energetica ottimali in funzione dei costi.

È necessario istituire misure volte ad aumentare il numero di edifici che non solo rispettano i requisiti minimi vigenti, ma presentano una prestazione energetica ancora più elevata, riducendo, in tal modo, sia il consumo energetico sia le emissioni di biossido di carbonio.

A tal fine gli Stati membri dovrebbero elaborare piani nazionali intesi ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero e provvedere alla trasmissione regolare di tali piani alla Commissione.

Gli Stati membri adottano le misure necessarie affinché siano fissati requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici o le unità immobiliari al fine di raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi. La prestazione energetica è calcolata conformemente alla metodologia adottata da ciascuno Stato membro. I livelli ottimali in funzione dei costi sono calcolati conformemente al quadro metodologico comparativo che sarà stabilito dalla Commissione entro il 30/06/2011.

Gli Stati membri adottano le misure necessarie affinché siano fissati requisiti minimi di prestazione energetica per gli elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e hanno un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro dell'edificio quando sono sostituiti o rinnovati, al fine di raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi.

Nel fissare i requisiti, gli Stati membri possono distinguere tra gli edifici già esistenti e quelli di nuova costruzione, nonché tra diverse tipologie edilizie.

Tali requisiti tengono conto delle condizioni generali del clima degli ambienti interni allo scopo di evitare eventuali effetti negativi quali una ventilazione inadeguata, nonché delle condizioni locali, dell'uso cui l'edificio è destinato e della sua età.

Nei prossimi paragrafi verrà riportata una sintesi del contenuto della Direttiva 2010/31/CE e di alcuni allegati.

2.20.1 REQUISITI MINIMI DI PRESTAZIONE ENERGETICA IN EDIFICI NUOVI

1. Gli Stati membri adottano le misure necessarie affinché gli edifici di nuova costruzione soddisfino i requisiti minimi di prestazione energetica fissati conformemente dalla Commissione.

Per gli edifici di nuova costruzione gli Stati membri garantiscono che, prima dell'inizio dei lavori di costruzione, sia valutata e tenuta presente la fattibilità tecnica, ambientale ed economica di sistemi alternativi ad alta efficienza come quelli indicati di seguito, se disponibili:

- *a) sistemi di fornitura energetica decentrati basati su energia da fonti rinnovabili;*
- *b) cogenerazione;*
- *c) teleriscaldamento o tele-rinfrescamento urbano o collettivo, in particolare se basato interamente o parzialmente su energia da fonti rinnovabili;*
- *d) pompe di calore.*

2. Gli Stati membri garantiscono che l'esame di sistemi alternativi sia documentato e disponibile a fini di verifica.

3. Tale esame di sistemi alternativi può essere effettuato per singoli edifici, per gruppi di edifici analoghi o per tipologie comuni di edifici nella stessa area. Per quanto riguarda gli impianti di riscaldamento e raffrescamento collettivi, l'esame può essere effettuato per tutti gli edifici collegati all'impianto nella stessa area.

2.20.2 REQUISITI MINIMI DI PRESTAZIONE ENERGETICA IN EDIFICI ESISTENTI

Gli Stati membri adottano le misure necessarie per garantire che la prestazione energetica degli edifici o di loro parti destinati a subire ristrutturazioni importanti sia migliorato al fine di soddisfare i requisiti minimi di prestazione energetica fissati conformemente all'articolo 4 per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile.

Tali requisiti si applicano all'edificio o all'unità immobiliare oggetto di ristrutturazione nel suo complesso. In aggiunta o in alternativa, i requisiti possono essere applicati agli elementi edilizi ristrutturati. Gli Stati membri adottano le misure necessarie, inoltre, per garantire che la prestazione energetica degli elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e hanno un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro dell'edificio destinati ad essere sostituiti o rinnovati soddisfino i requisiti minimi di prestazione energetica per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile.

Gli Stati membri stabiliscono i requisiti minimi di prestazione energetica stabiliti. Gli Stati membri incoraggiano, in relazione agli edifici destinati ad una ristrutturazione importante, a valutare e tener presenti i sistemi alternativi ad alto rendimento per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile.

2.20.3 IMPIANTI TECNICI NELL'EDILIZIA

Al fine di ottimizzare il consumo energetico dei sistemi tecnici per l'edilizia, gli Stati membri stabiliscono requisiti di impianto relativi al rendimento energetico globale, alla corretta installazione e alle dimensioni, alla regolazione e al controllo adeguati degli impianti tecnici per l'edilizia installati negli edifici esistenti. Gli Stati membri possono altresì applicare tali requisiti agli edifici di nuova costruzione.

Tali requisiti sono stabiliti per il caso di nuova installazione, sostituzione o miglioramento di sistemi tecnici per l'edilizia e si applicano per quanto tecnicamente, economicamente e funzionalmente fattibile. Detti requisiti riguardano:

- *a) impianti di riscaldamento;*
- *b) impianti di produzione di acqua calda;*
- *c) impianti di condizionamento d'aria;*
- *d) grandi impianti di ventilazione; o una combinazione di tali impianti.*

2.20.4 EDIFICI A ENERGIA QUASI ZERO

1. Gli Stati membri provvedono affinché:

- *a) entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero; e*
- *b) a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi siano edifici a energia quasi zero.*

Gli Stati membri elaborano piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero. Tali piani nazionali possono includere obiettivi differenziati per tipologia edilizia.

2. Gli Stati membri procedono inoltre, sulla scorta dell'esempio del settore pubblico, alla definizione di politiche e all'adozione di misure, quali la fissazione di obiettivi, finalizzate a incentivare la trasformazione degli edifici ristrutturati in edifici a energia quasi zero e ne informano la Commissione nei piani nazionali.

3. I piani nazionali comprendono, tra l'altro, i seguenti elementi:

- *a) l'applicazione dettagliata nella pratica, da parte degli Stati membri, della definizione di edifici a energia quasi zero, tenuto conto delle rispettive condizioni nazionali, regionali o locali e con un indicatore numerico del consumo di energia primaria espresso in kWh/m² anno. I fattori di energia primaria usati per la determinazione del consumo di energia primaria possono basarsi sui valori medi nazionali o regionali annuali e tener conto delle pertinenti norme europee;*
- *b) obiettivi intermedi di miglioramento della prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione entro il 2015;*
- *c) informazioni sulle politiche e sulle misure finanziarie o di altro tipo adottate in virtù dei paragrafi 1 e 2 per promuovere gli edifici a energia quasi zero, compresi dettagli relativi ai requisiti e alle misure nazionali concernenti l'uso di energia da fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e negli edifici esistenti sottoposti ad una ristrutturazione importante stabiliti nell'ambito dell'articolo 13, paragrafo 4, della direttiva 2009/28/CE e degli articoli 6 e 7 della presente direttiva.*

2.20.5 ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA

Gli Stati membri adottano le misure necessarie per l'istituzione di un sistema di certificazione energetica degli edifici. L'*attestato di prestazione energetica* comprende la prestazione energetica di un edificio e valori di riferimento quali i requisiti minimi di prestazione energetica al fine di consentire ai proprietari o locatari dell'edificio o dell'unità immobiliare di valutare e raffrontare la prestazione energetica.

L'attestato di prestazione energetica può comprendere informazioni supplementari, quali il consumo energetico annuale per gli edifici non residenziali e la percentuale di energia da fonti rinnovabili nel consumo energetico totale.

L'attestato di prestazione energetica comprende raccomandazioni per il miglioramento efficace o ottimale in funzione dei costi della prestazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare, a meno che manchi un ragionevole potenziale per tale miglioramento rispetto ai requisiti di prestazione energetica in vigore.

Le raccomandazioni che figurano nell'attestato di prestazione energetica riguardano:

- *a) le misure attuate in occasione di una ristrutturazione importante dell'involucro di un edificio o dei sistemi tecnici per l'edilizia; e*
- *b) le misure attuate per singoli elementi edilizi, a prescindere da ristrutturazioni importanti dell'involucro dell'edificio o dei sistemi tecnici per l'edilizia.*

Le raccomandazioni riportate nell'attestato di prestazione energetica devono essere tecnicamente fattibili per l'edificio considerato e possono fornire una stima dei tempi di ritorno o del rapporto costi-benefici rispetto al ciclo di vita economico.

L'attestato di prestazione energetica precisa se il proprietario o locatario può ottenere informazioni più particolareggiate, anche per quanto riguarda l'efficacia in termini di costi delle raccomandazioni formulate nell'attestato di prestazione energetica. La valutazione dell'efficacia in termini di costi si basa su una serie di condizioni standard, quali la valutazione del risparmio energetico, i prezzi dell'energia e una stima preliminare dei costi. Contiene, inoltre, informazioni sui provvedimenti da adottare per attuare le raccomandazioni. Al proprietario o locatario possono essere fornite anche altre informazioni su aspetti correlati, quali diagnosi energetiche o incentivi di carattere finanziario o di altro tipo e possibilità di finanziamento.

Fatte salve le norme nazionali, gli Stati membri incoraggiano gli enti pubblici a tener conto del ruolo guida che dovrebbero svolgere nel settore della prestazione energetica degli edifici, tra l'altro attuando le raccomandazioni riportate nell'attestato di prestazione energetica rilasciato per gli edifici di cui sono proprietari entro il suo periodo di validità.

La certificazione per le unità immobiliari può fondarsi:

- *a) su una certificazione comune dell'intero edificio; ovvero*
- *b) sulla valutazione di un'un'altra unità immobiliare con le stesse caratteristiche energetiche rappresentativa dello stesso edificio.*

La certificazione delle abitazioni mono-familiari può fondarsi sulla valutazione di un altro edificio rappresentativo che sia simile per struttura, dimensione e per qualità della prestazione energetica effettiva, sempre che l'esperto che rilascia l'attestato sia in grado di garantire tale corrispondenza.

La validità dell'attestato di prestazione energetica è di dieci anni al massimo.

2.20.6 RILASCIO DELL'ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA

Gli Stati membri provvedono affinché un attestato di prestazione energetica sia rilasciato:

- *a) per gli edifici o le unità immobiliari costruite, venduti o locati ad un nuovo locatario;*
- *b) per gli edifici in cui una metratura utile totale di oltre 500 m² è occupata da enti pubblici e abitualmente frequentata dal pubblico. Il 9 luglio 2015 la soglia di 500 m² è abbassata a 250 m².*

L'obbligo di rilasciare un attestato di prestazione energetica viene meno ove sia disponibile e valido un attestato rilasciato conformemente alla direttiva 2002/91/CE o alla presente direttiva per l'edificio o l'unità immobiliare interessati. Gli Stati membri dispongono che, in caso di costruzione, vendita o locazione di edifici o unità immobiliari, l'attestato di prestazione energetica (o copia dello stesso) sia mostrato al potenziale acquirente o nuovo locatario e consegnato all'acquirente o al nuovo locatario. In caso di vendita o locazione di un edificio prima della sua costruzione, gli Stati membri possono disporre, in deroga ai paragrafi 1 e 2, che il venditore fornisca una valutazione della

futura prestazione energetica dell'edificio; in tal caso, l'attestato di prestazione energetica è rilasciato entro la fine della costruzione dell'edificio.

2.20.7 ESPERTI INDIPENDENTI

Gli Stati membri garantiscono che la certificazione della prestazione energetica degli edifici e l'ispezione degli impianti di riscaldamento e condizionamento d'aria siano effettuate in maniera indipendente da esperti qualificati e/o accreditati, operanti in qualità di lavoratori autonomi o come dipendenti di enti pubblici o di imprese private.

L'accREDITAMENTO degli esperti è effettuato tenendo conto della loro competenza.

Gli Stati membri mettono a disposizione del pubblico informazioni sulla formazione e l'accREDITAMENTO. Gli Stati membri provvedono affinché siano messi a disposizione del pubblico elenchi periodicamente aggiornati di esperti qualificati e/o accreditati o elenchi periodicamente aggiornati di società accreditate che offrono i servizi di tali esperti.

2.20.8 RECEPIMENTO

Gli Stati membri adottano e pubblicano, entro e non oltre il 9 luglio 2012, le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi agli articoli da 2 a 18 e agli articoli 20 e 27. Essi applicano le disposizioni relative agli articoli 2, 3, 9, 11, 12, 13, 17, 18, 20 e 27 al più tardi a decorrere dal 9 Gennaio 2013.

Essi applicano le disposizioni relative agli articoli 4, 5, 6, 7, 8, 14, 15 e 16 agli edifici occupati da enti pubblici al più tardi a decorrere dal 9 Gennaio 2013 e agli altri edifici al più tardi a decorrere dal 9 luglio 2013. Essi possono rinviare fino al 31 dicembre 2015 l'applicazione dell'articolo 12, paragrafi 1 e 2, a singole unità immobiliari in locazione. Ciò non comporta, tuttavia, che nello Stato membro interessato si rilasci un minor numero di attestati rispetto a quello che sarebbe stato rilasciato a norma della direttiva 2002/91/CE.

2.20.9 QUADRO COMUNE GENERALE PER IL CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

La prestazione energetica di un edificio è determinata sulla base della quantità di energia, reale o calcolata, consumata annualmente per soddisfare le varie esigenze legate ad un uso normale dell'edificio e corrisponde al fabbisogno energetico per il riscaldamento e il rinfrescamento (energia necessaria per evitare un surriscaldamento) che consente di mantenere la temperatura desiderata dell'edificio e coprire il fabbisogno di acqua calda nel settore domestico.

La prestazione energetica di un edificio è espressa in modo chiaro e comprende anche un indicatore di prestazione energetica e un indicatore numerico del consumo di energia primaria, basato su fattori di energia primaria per vettore energetico, eventualmente basati su medie ponderate annuali nazionali o regionali o un valore specifico per la produzione in loco. La metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici dovrebbe tener conto delle norme europee ed essere coerente con la pertinente legislazione dell'Unione, compresa la direttiva 2009/28/CE.

Ai fini della determinazione della metodologia di calcolo si deve tener conto almeno dei seguenti aspetti:

- *a) le seguenti caratteristiche termiche effettive dell'edificio, comprese le sue divisioni interne: capacità termica; isolamento; riscaldamento passivo; elementi di rinfrescamento; ponti termici;*
- *b) impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda, comprese le relative caratteristiche di isolamento;*

- *c) impianti di condizionamento d'aria;*
- *d) ventilazione naturale e meccanica, compresa eventualmente l'ermeticità all'aria;*
- *e) impianto di illuminazione incorporato (principalmente per il settore non residenziale);*
- *f) progettazione, posizione e orientamento dell'edificio, compreso il clima esterno;*
- *g) sistemi solari passivi e protezione solare;*
- *h) condizioni climatiche interne, incluso il clima degli ambienti interni progettato;*
- *i) carichi interni.*

Il calcolo deve tener conto, se del caso, dei vantaggi insiti nelle seguenti opzioni:

- a) condizioni locali di esposizione al sole, sistemi solari attivi ed altri impianti di generazione di calore ed elettricità a partire da energia da fonti rinnovabili;
- b) sistemi di cogenerazione dell'elettricità;
- c) impianti di teleriscaldamento e tele-rinfrescamento urbano o collettivo;
- d) illuminazione naturale.

Quando gli Stati membri adottano tali misure, queste contengono un riferimento alla presente direttiva o sono corredate di un siffatto riferimento all'atto della pubblicazione ufficiale. Esse recano altresì l'indicazione che i riferimenti alla direttiva 2002/91/CE contenuti nelle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative vigenti devono essere intesi come riferimenti fatti alla presente direttiva. Le modalità di tale riferimento nonché la forma redazionale di tale indicazione sono decise dagli Stati membri.

Ai fini del calcolo gli edifici dovrebbero essere classificati adeguatamente secondo le seguenti categorie:

- *a) abitazioni mono-familiari di diverso tipo;*
- *b) condomini (di appartamenti);*
- *c) uffici;*
- *d) strutture scolastiche;*
- *e) ospedali;*
- *f) alberghi e ristoranti;*
- *g) impianti sportivi;*
- *h) esercizi commerciali per la vendita all'ingrosso o al dettaglio;*
- *i) altri tipi di fabbricati impieganti energia.*

2.21 DECRETO N. 63 DEL 04-06-2013

Il Consiglio dei Ministri del 31/05/2013 recepisce la Direttiva 2010/31/CE, dopo la messa in mora dell'Italia per il mancato recepimento della stessa direttiva e per l'inosservanza della precedente 2002/91/CE. Il DL 63/2013 è stato pubblicato il 04/06/2013.

Sostanzialmente questo decreto si limita ad integrare e/o modificare il D.Lgs. 192/05 in alcuni articoli. Se ne riporta di seguito un estratto qualificato.

2.21.1 AMBITO DI APPLICAZIONE

Il decreto disciplina in particolare:

- *a) la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici;*
- *b) le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici quando sono oggetto di:*
 - *1) nuova costruzione;*

- 2) *ristrutturazioni importanti*³⁵;
- 3) *riqualificazione energetica*.
- c) *la definizione di un Piano di azione per la promozione degli edifici a “energia quasi zero”;*
- d) *l’attestazione della prestazione energetica degli edifici e delle unità immobiliari;*
- e) *lo sviluppo di strumenti finanziari e la rimozione di barriere di mercato per la promozione dell’efficienza energetica degli edifici;*
- f) *l’utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili negli edifici;*
- g) *la realizzazione di un sistema coordinato di ispezione periodica degli impianti termici negli edifici;*
- h) *i requisiti professionali e di indipendenza degli esperti o degli organismi cui affidare l’attestazione della prestazione energetica degli edifici e l’ispezione degli impianti di climatizzazione;*
- i) *la realizzazione e l’adozione di strumenti comuni allo Stato e alle Regioni e Province autonome per la gestione degli adempimenti a loro carico;*
- l) *la promozione dell’uso razionale dell’energia anche attraverso l’informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l’aggiornamento degli operatori del settore;*
- m). *la raccolta delle informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all’orientamento della politica energetica del settore.*

Sono escluse dall’applicazione del decreto le seguenti categorie di edifici:

- a) gli edifici ricadenti nell’ambito della disciplina della parte seconda e dell’articolo 136, comma 1, lettere b) e c), del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, recante il codice dei beni culturali e del paesaggio, fatto salvo quanto disposto al comma 3-bis;
- b) gli edifici industriali e artigianali quando gli ambienti sono riscaldati per esigenze del processo produttivo o utilizzando reflui energetici del processo produttivo non altrimenti utilizzabili;
- c) edifici rurali non residenziali sprovvisti di impianti di climatizzazione;
- d) i fabbricati isolati con una superficie utile totale inferiore a 50 metri quadrati;
- e) gli edifici che risultano non compresi nelle categorie di edifici classificati sulla base della destinazione d’uso di cui all’articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, il cui utilizzo standard non prevede l’installazione e l’impiego di sistemi tecnici, quali box, cantine, autorimesse, parcheggi multipiano, depositi, strutture stagionali a protezione degli impianti sportivi, fatto salvo quanto disposto dal comma 3-ter;
- f) gli edifici adibiti a luoghi di culto e allo svolgimento di attività religiose;”

2.21.2 MODALITÀ DI APPLICAZIONE

Con uno o più decreti del Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare, il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti e, per i profili di competenza, con il Ministro della Salute e con il Ministro della difesa, acquisita l’intesa con la Conferenza unificata, sono definiti:

- a) le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche e l’utilizzo delle fonti rinnovabili negli edifici, in relazione ai paragrafi 1 e 2 dell’Allegato 1 della direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, n.31 sulla prestazione energetica nell’edilizia, tenendo conto dei seguenti criteri generali:

³⁵ Per ristrutturazioni rilevanti si intendono lavori che interessano almeno il 25% della superficie esterna che inviluppa l’edificio, ad esempio per rifacimento delle pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell’impermeabilizzazione delle coperture.

1) la prestazione energetica degli edifici è determinata in conformità alla normativa tecnica UNI e CTI, allineate con le norme predisposte dal CEN a supporto della direttiva 2010/31/CE, su specifico mandato della Commissione europea;

2) il fabbisogno energetico annuale globale si calcola per singolo servizio energetico, espresso in energia primaria, su base mensile. Con le stesse modalità si determina l'energia rinnovabile prodotta all'interno del confine del sistema;

3) ***si opera la compensazione mensile tra i fabbisogni energetici e l'energia rinnovabile prodotta all'interno del confine del sistema, per vettore energetico e fino a copertura totale del corrispondente vettore energetico consumato;***

4) ai fini della compensazione di cui al punto 3, è consentito utilizzare l'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili all'interno del confine del sistema ed esportata, secondo le modalità definite dai decreti di cui al presente comma;

b) l'applicazione di prescrizioni e requisiti minimi, aggiornati **ogni cinque anni**, in materia di prestazioni energetiche degli edifici e unità immobiliari, siano essi di nuova costruzione, oggetto di ristrutturazioni importanti o di riqualificazioni energetiche, sulla base dell'applicazione della metodologia comparativa di cui all'articolo 5 della direttiva 2010/31/UE, secondo i seguenti criteri generali:

1) i requisiti minimi rispettano le valutazioni tecniche ed economiche di convenienza, fondate sull'analisi costi benefici del ciclo di vita economico degli edifici;

2) in caso di nuova costruzione e di ristrutturazione importante, i requisiti sono determinati con l'utilizzo dell'*edificio di riferimento*, in funzione della tipologia edilizia e delle fasce climatiche;

3) per le verifiche necessarie a garantire il rispetto della qualità energetica prescritta, sono previsti dei parametri specifici del fabbricato, in termini di indici di prestazione termica e di trasmittanze, e parametri complessivi, in termini di indici di prestazione energetica globale, espressi sia in energia primaria totale che in energia primaria non rinnovabile.

Con uno o più decreti del Presidente della Repubblica sono aggiornate, in relazione all'articolo 8 e agli articoli da 14 a 17 della direttiva 2010/31/UE, le modalità di progettazione, installazione, esercizio, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici nonché i requisiti professionali e i criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici e l'ispezione degli impianti di climatizzazione e la realizzazione di un sistema informativo coordinato per la gestione dei rapporti tecnici di ispezione e degli attestati di prestazione energetica."

2.21.3 EDIFICI A QUASI ZERO ENERGIA

A partire dal 31 dicembre 2018, gli edifici di nuova costruzione utilizzati da Pubbliche Amministrazioni e di proprietà di queste ultime, ivi compresi gli edifici scolastici, devono essere edifici a energia quasi zero. Dal 1° gennaio 2021 la predetta disposizione è estesa a tutti gli edifici di nuova costruzione.

Entro il 31 dicembre 2014, con decreto del Ministro dello sviluppo economico, di concerto con i Ministri per la pubblica amministrazione e la semplificazione, della coesione territoriale, dell'economia e delle finanze, delle infrastrutture e dei trasporti, dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e con il Ministro della Salute e il Ministro dell'istruzione, dell'università e della ricerca, ognuno per i profili di competenza, con il parere della Conferenza unificata è definito il Piano d'azione destinato ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero. Tale piano, che può includere obiettivi differenziati per tipologia edilizia, è trasmesso alla Commissione europea.

Il Piano d'azione di cui al comma 2, comprende, tra l'altro, i seguenti elementi:

- a) l'applicazione della definizione di edifici a energia quasi zero alle diverse tipologie di edifici e indicatori numerici del consumo di energia primaria, espresso in kWh/(m².anno);
- b) le politiche e le misure finanziarie o di altro tipo previste per promuovere gli edifici a energia quasi zero, **comprese le informazioni relative alle misure nazionali previste per l'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici, in attuazione della direttiva 2009/28/CE;**
- c) individuazione, in casi specifici e sulla base dell'analisi costi-benefici sul ciclo di vita economico, della non applicabilità di quanto disposto al comma 1;
- d) gli obiettivi intermedi di miglioramento della prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione entro il 2015, in funzione dell'attuazione del comma 1.

2.21.4 ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA

L'attestato di certificazione energetica degli edifici è denominato “**attestato di prestazione energetica**” ed è rilasciato per gli edifici o le unità immobiliari costruiti, venduti o locati ad un nuovo locatario e per gli edifici indicati al comma 6. Gli edifici di nuova costruzione e quelli sottoposti a ristrutturazioni importanti, sono dotati di un attestato di prestazione energetica al termine dei lavori.

Nel caso di nuovo edificio, l'attestato è prodotto a cura del costruttore, sia esso committente della costruzione o società di costruzione che opera direttamente. Nel caso di attestazione della prestazione degli edifici esistenti, ove previsto dal presente decreto, l'attestato è prodotto a cura del proprietario dell'immobile.

Nel caso di vendita o di nuova locazione di edifici o unità immobiliari, ove l'edificio o l'unità non ne sia già dotato, il proprietario è tenuto a produrre l'attestato di prestazione energetica di cui al comma 1.

In tutti i casi, **il proprietario deve rendere disponibile l'attestato di prestazione energetica al potenziale acquirente o al nuovo locatario** all'avvio delle rispettive trattative e consegnarlo alla fine delle medesime; in caso di vendita o locazione di un edificio prima della sua costruzione, il venditore o locatario fornisce evidenza della futura prestazione energetica dell'edificio e produce l'attestato di prestazione energetica congiuntamente alla dichiarazione di fine lavori.

Nei contratti di vendita o nei nuovi contratti di locazione di edifici o di singole unità immobiliari è inserita apposita clausola con la quale l'acquirente o il conduttore danno atto di aver ricevuto le informazioni e la documentazione, comprensiva dell'attestato, in ordine alla attestazione della prestazione energetica degli edifici.

L'attestazione della prestazione energetica può riferirsi a una o più unità immobiliari facenti parte di un medesimo edificio. L'attestazione di prestazione energetica riferita a più unità immobiliari può essere prodotta solo qualora esse abbiano la medesima destinazione d'uso, siano servite, qualora presente, dal medesimo impianto termico destinato alla climatizzazione invernale e, qualora presente, dal medesimo sistema di climatizzazione estiva.

L'attestato di prestazione energetica di cui al comma 1 ha una validità temporale massima di dieci anni a partire dal suo rilascio ed è aggiornato a ogni intervento di ristrutturazione che modifichi la classe energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare. La validità temporale massima è subordinata al rispetto delle prescrizioni per le operazioni di controllo di efficienza energetica degli impianti termici, comprese le eventuali necessità di adeguamento, previste dal decreto del 16 aprile 2013, concernente i criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo manutenzione e ispezione degli impianti termici nonché i requisiti professionali per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli ispettori. Nel caso di mancato rispetto di dette disposizioni, l'attestato di prestazione energetica decade il 31 dicembre dell'anno successivo a quello in cui è prevista la prima scadenza non rispettata per le predette operazioni di controllo di efficienza energetica.

A tali fini, i libretti di impianto previsti dai decreti di cui all'articolo 4, comma 1, sono allegati, in originale o in copia, all'attestato di prestazione energetica.

Nel caso di edifici utilizzati da Pubbliche Amministrazioni e aperti al pubblico con superficie utile totale *superiore a 500 m²*, ove l'edificio non ne sia già dotato, è fatto obbligo al proprietario, o al soggetto responsabile della gestione, di produrre l'attestato di prestazione energetica entro centoventi giorni dalla data di entrata in vigore del presente decreto e di affiggere l'attestato di prestazione energetica con evidenza all'ingresso dell'edificio stesso o in altro luogo chiaramente visibile al pubblico. A partire dal 9 luglio 2015, la soglia di 500 m² di cui sopra, è abbassata a 250 m². Per gli edifici scolastici tali obblighi ricadono sugli enti proprietari di cui all'articolo 3 della legge 11 gennaio 1996, n. 23.

Per gli edifici aperti al pubblico, con superficie utile totale superiore a 500 m², per i quali sia stato rilasciato l'attestato di prestazione energetica di cui ai commi 1 e 2, è fatto obbligo, al proprietario o al soggetto responsabile della gestione dell'edificio stesso, di affiggere con evidenza tale attestato all'ingresso dell'edificio o in altro luogo chiaramente visibile al pubblico.

Nel caso di offerta di vendita o di locazione, i corrispondenti annunci tramite tutti i mezzi di comunicazione commerciali riportano l'indice di prestazione energetica dell'involucro edilizio e globale dell'edificio o dell'unità immobiliare e la classe energetica corrispondente.

Tutti i contratti, nuovi o rinnovati, relativi alla gestione degli impianti termici o di climatizzazione degli edifici pubblici, o nei quali figura come committente un soggetto pubblico, devono prevedere la predisposizione dell'attestato di prestazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare interessati.

L'obbligo di dotare l'edificio di un attestato di prestazione energetica viene meno ove sia già disponibile un attestato in corso di validità, rilasciato conformemente alla direttiva 2002/91/CE.

L'attestato di qualificazione energetica, al di fuori di quanto previsto all'articolo 8, comma 2, è **facoltativo** ed è predisposto al fine di semplificare il successivo rilascio della prestazione energetica. A tal fine, l'attestato di qualificazione energetica comprende anche l'indicazione di possibili interventi migliorativi delle prestazioni energetiche e la classe di appartenenza dell'edificio, o dell'unità immobiliare, in relazione al sistema di attestazione energetica in vigore, nonché i possibili passaggi di classe a seguito della eventuale realizzazione degli interventi stessi. L'estensore provvede ad evidenziare opportunamente sul frontespizio del documento che il medesimo ***non costituisce attestato di prestazione energetica dell'edificio***, ai sensi del decreto di recepimento, nonché, nel sottoscriverlo, quale è od è stato il suo ruolo con riferimento all'edificio medesimo.

Con decreto del Ministro dello sviluppo economico, di concerto con i Ministri dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, delle infrastrutture e dei trasporti e per la pubblica amministrazione e la semplificazione, d'intesa con la Conferenza unificata, sentito il CNCU, avvalendosi delle metodologie di calcolo definite con i decreti di cui all'articolo 4, è ***predisposto l'adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico del 26 giugno 2009***, nel rispetto dei seguenti criteri e contenuti:

a) la previsione di metodologie di calcolo semplificate, da rendere disponibili per gli edifici caratterizzati da ridotte dimensioni e prestazioni energetiche di modesta qualità, finalizzate a ridurre i costi a carico dei cittadini;

b) la definizione di un attestato di prestazione energetica che comprende tutti i dati relativi all'efficienza energetica dell'edificio che consentano ai cittadini di valutare e confrontare edifici diversi. Tra tali dati sono obbligatori:

- *1. la prestazione energetica globale dell'edificio sia in termini di energia primaria totale che di energia primaria non rinnovabile, attraverso i rispettivi indici;*
- *2. la classe energetica determinata attraverso l'indice di prestazione energetica globale dell'edificio, espresso in energia primaria non rinnovabile;*

- 3. *la qualità energetica del fabbricato a contenere i consumi energetici per il riscaldamento e il raffrescamento, attraverso gli indici di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale ed estiva dell'edificio;*
- 4. *i valori di riferimento, quali i requisiti minimi di efficienza energetica vigenti a norma di legge;*
- 5. *le emissioni di anidride carbonica;*
- 6. *l'energia esportata.*
- 7. *le raccomandazioni per il miglioramento dell'efficienza energetica dell'edificio con le proposte degli interventi più significativi ed economicamente convenienti, separando la previsione di interventi di ristrutturazione importanti da quelli di riqualificazione energetica;*
- 8. *le informazioni correlate al miglioramento della prestazione energetica, quali diagnosi e incentivi di carattere finanziario;*

c) la definizione di uno schema di annuncio di vendita o locazione, per esposizione nelle agenzie immobiliari, che renda uniformi le informazioni sulla qualità energetica degli edifici fornite ai cittadini;

d) la definizione di un sistema informativo comune per tutto il territorio nazionale, di utilizzo obbligatorio per le Regioni e le Province autonome, che comprenda la gestione di un catasto degli edifici, degli attestati di prestazione energetica e dei relativi controlli pubblici.

2.21.5 RELAZIONI TECNICHE E DEPOSITO IN COMUNE

Il progettista o i progettisti, nell'ambito delle rispettive competenze edili, impiantistiche termotecniche e illuminotecniche, devono inserire i calcoli e le verifiche previste dal decreto di recepimento nella relazione tecnica di progetto attestante la rispondenza alle prescrizioni per il contenimento del consumo di energia degli edifici e dei relativi impianti termici, che il proprietario dell'edificio, o chi ne ha titolo, deve depositare presso le amministrazioni competenti, in doppia copia, contestualmente alla dichiarazione di inizio dei lavori complessivi o degli specifici interventi proposti. *Tale relazione non è dovuta in caso di mera sostituzione del generatore di calore dell'impianto di climatizzazione.*

Gli schemi e le modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto sono definiti con decreto del Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti e per la pubblica amministrazione e la semplificazione, sentita la Conferenza Unificata, in funzione delle diverse tipologie di lavori: nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti, interventi di riqualificazione energetica. Ai fini della più estesa applicazione dell'articolo 26, comma 7, della legge 9 gennaio 1991, n. 10, per gli enti soggetti all'obbligo di cui all'articolo 19 della stessa legge, la relazione tecnica di progetto è integrata attraverso attestazione di verifica sulla applicazione della norma predetta redatta dal Responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia nominato.

In relazione all'articolo 6, paragrafo 1 della direttiva 2010/31/UE, in caso di nuova costruzione, nell'ambito della relazione di cui al comma 1, è prevista una valutazione della fattibilità tecnica, ambientale ed economica per l'inserimento di sistemi alternativi ad alta efficienza tra i quali, a titolo puramente esemplificativo, sistemi di fornitura di energia rinnovabile, cogenerazione, teleriscaldamento e teleraffrescamento, pompe di calore e sistemi di misurazione intelligenti.

2.21.6 NORME TRANSITORIE

Nelle more dell'aggiornamento delle specifiche norme europee di riferimento per l'attuazione della direttiva 2010/31/UE, le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, di

cui all'articolo 3, comma 1, del decreto del Presidente della Repubblica, del 2 aprile 2009, n. **59**, predisposte in conformità alle norme EN a supporto della direttive 2002/91/CE e 2010/31/UE, sono quelle di seguito elencate:

a) Raccomandazione **CTI 14/2013** "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione dell'energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell'edificio", o normativa UNI equivalente e successive norme tecniche che ne conseguono;

b) **UNI/TS 11300 – 1** Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale;

c) **UNI/TS 11300 – 2** Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione e l'illuminazione;

d) **UNI/TS 11300 – 3** Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva;

e) **UNI/TS 11300 – 4** Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria."

2.21.7 SANZIONI

1. L'attestato di prestazione energetica di cui all'articolo 6, il rapporto di controllo tecnico di cui all'articolo 7, la relazione tecnica, l'asseverazione di conformità e l'attestato di qualificazione energetica di cui all'articolo 8, sono resi in forma di dichiarazione sostitutiva di atto notorio ai sensi dell'articolo 47, del decreto del Presidente della Repubblica 28 dicembre 2000, n. 445.

2. Le autorità competenti che ricevono i documenti di cui al comma 1 eseguono i controlli con le modalità di cui all'articolo 71 del decreto del Presidente della Repubblica 28 dicembre 2000, n. 445 e applicano le sanzioni amministrative di cui ai commi da 3 a 6. Inoltre, qualora ricorrano le ipotesi di reato di cui all'articolo 76 del decreto del Presidente della Repubblica 28 dicembre 2000, n. 445, si applicano le sanzioni previste dal medesimo articolo.

3. Il professionista qualificato che rilascia la relazione tecnica di cui all'articolo 8, compilata senza il rispetto degli schemi e delle modalità stabilite nel decreto di cui all'articolo 8, comma 1 e 1-bis, o un attestato di prestazione energetica degli edifici senza il rispetto dei criteri e delle metodologie di cui all'articolo 6, è punito con una sanzione amministrativa non inferiore a 700 euro e non superiore a 4200 euro. L'ente locale e la Regione, che applicano le sanzioni secondo le rispettive competenze, danno comunicazione ai relativi ordini o collegi professionali per i provvedimenti disciplinari conseguenti.

4. Il direttore dei lavori che omette di presentare al Comune l'asseverazione di conformità delle opere e l'attestato di qualificazione energetica, di cui all'articolo 8, comma 2, contestualmente alla dichiarazione di fine lavori, è punito con la sanzione amministrativa non inferiore a 1000 euro e non superiore a 6000 euro. Il Comune che applica la sanzione deve darne comunicazione all'ordine o al collegio professionale competente per i provvedimenti disciplinari conseguenti.

5. Il proprietario o il conduttore dell'unità immobiliare, l'amministratore del condominio, o l'eventuale terzo che se ne è assunta la responsabilità, qualora non provveda alle operazioni di controllo e manutenzione degli impianti di climatizzazione secondo quanto stabilito dall'articolo 7, comma 1, è punito con la sanzione amministrativa non inferiore a 500 euro e non superiore a 3000 euro.

6. L'operatore incaricato del controllo e manutenzione, che non provvede a redigere e sottoscrivere il rapporto di controllo tecnico di cui all'articolo 7, comma 2, è punito con la sanzione amministrativa non inferiore a 1000 euro e non superiore a 6000 euro. L'ente locale, o la Regione

competente in materia di controlli, che applica la sanzione comunica alla Camera di commercio, industria, artigianato e agricoltura di appartenenza per i provvedimenti disciplinari conseguenti.

7. In caso di violazione dell'obbligo di dotare di un attestato di prestazione energetica gli edifici di nuova costruzione e quelli sottoposti a ristrutturazioni importanti, come previsto dall'articolo 6, comma 1, il costruttore o il proprietario è punito con la sanzione amministrativa non inferiore a 3000 euro e non superiore a 18000 euro.

8. In caso di violazione dell'obbligo di dotare di un attestato di prestazione energetica gli edifici o le unità immobiliari nel caso di vendita, come previsto dall'articolo 6, comma 2, il proprietario è punito con la sanzione amministrativa non inferiore a 3000 euro e non superiore a 18000 euro.

9. In caso di violazione dell'obbligo di dotare di un attestato di prestazione energetica gli edifici o le unità immobiliari nel caso di nuovo contratto di locazione, come previsto dall'articolo 6, comma 2, il proprietario è punito con la sanzione amministrativa non inferiore a 300 euro e non superiore a 1800 euro. 10. In caso di violazione dell'obbligo di riportare i parametri energetici nell'annuncio di offerta di vendita o locazione, come previsto dall'articolo 6, comma 8, il responsabile dell'annuncio è punito con la sanzione amministrativa non inferiore a 500 euro e non superiore a 3000 euro.

2.21.8 ABROGAZIONI E DISPOSIZIONI FINALI

Dalla data di entrata in vigore del presente decreto, sono abrogati, gli articoli 1, comma 3, 2, comma 1, lettere c), d), e) ed f), l'articolo 5, 12, 14, i punti 2, 11, 12 e 56 dell'Allegato A, gli Allegati B ed I del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, nonché il punto 4 dell'allegato 4 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.

All'entrata in vigore dei decreti di cui all'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, come modificato dal presente decreto, sono abrogati i commi 1 e 2 dell'articolo 3 del decreto legislativo stesso. Nel decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, ovunque ricorrano le parole: "*attestato di certificazione energetica*", sono sostituite dalle seguenti: "***attestato di prestazione energetica***".

2.22 DIRETTIVA 2012/27/UE

La Direttiva 2012/27/UE tenta di accelerare il raggiungimento degli obiettivi indicati dal "pacchetto clima-energia 20/20/20", andando a incidere soprattutto nel comparto edilizio, responsabile del 40% dei consumi finali di energia.

Tra gli strumenti strategici anche il *Green Public Procurement* in relazione al quale si prospettano numerosi obblighi in capo alle Amministrazioni.

La Direttiva, 2012/27/UE, da recepire entro il 5 giugno 2014, impone agli Stati membri di stabilire: "un obiettivo nazionale indicativo di efficienza energetica, basato sul consumo di energia primaria o finale, sul risparmio di energia primaria o finale o sull'intensità energetica" (art.3), oltre ad una strategia a lungo termine per incentivare gli investimenti nella ristrutturazione degli edifici residenziali e commerciali, pubblici e privati (art. 4) stimolando la concorrenza tra le imprese e la creazione di posti di lavoro nei settori correlati.

La Direttiva, inoltre, promuove campagne d'informazione/formazione, anche professionale di tutti gli operatori del settore, sull'efficienza energetica e sugli aspetti giuridici e finanziari rivolte sia agli specialisti di settore sia ai consumatori.

I Piani d'Azione Nazionali dovranno essere pubblicati entro il 30 aprile 2014 e aggiornati ogni tre anni.

La commissione adotterà un sistema di monitoraggio che consentirà di esaminare il raggiungimento dell'obiettivo del 20% di efficienza energetica al fine di attuare eventuali misure e raccomandazioni.

Con riferimento specifico alla Pubblica Amministrazione si segnalano importanti novità.

Dal 1 gennaio 2014, il 3 % della superficie coperta utile totale degli edifici pubblici riscaldati e/o raffreddati superiore a 500 m² (di proprietà del proprio governo centrale e da esso occupati) dovrà essere ristrutturata ogni anno per rispettare almeno i requisiti minimi di prestazione energetica stabiliti in applicazione dell'art. 4 della direttiva 2010/31/UE (non ancora recepita dall'Italia).

A partire dal 9 luglio 2015 tale soglia sarà abbassata per ricomprendere gli edifici pubblici con aree calpestabili pari a 250 m².

Le priorità sono gli edifici del governo centrale con basse prestazioni energetiche, mentre potranno essere esclusi gli edifici protetti in relazione all'appartenenza a determinate aree o al loro particolare valore storico-architettonico, gli edifici di proprietà delle forze armate o del governo centrale destinati a scopi difensivi (a eccezione degli alloggi e degli uffici) e gli edifici adibiti a luoghi di culto e allo svolgimento di attività religiose.

Anche gli Enti che si occupano di edilizia sociale, dovranno adottare piani di efficienza energetica autonomi con obiettivi e azioni specifiche analoghe a quelle fissate per le amministrazioni centrali e instaurare un sistema di gestione dell'energia, compresi audit energetici.

Novità consistenti investono il campo degli acquisti verdi, nell'ambito delle gare d'appalto d'importo oltre le soglie di cui all'art. 7 della Direttiva 2004/18/CE. Non si tratta ovviamente di un caso: il "*Piano di efficienza energetica 2011*" dell'UE, al quale la Direttiva dà attuazione, raccomanda proprio la metodica GPP nel settore della ristrutturazione di edifici e nell'adozione di criteri di efficienza energetica per il raggiungimento dell'obiettivo di risparmio del 20% di energia primaria entro il 2020, analogamente a quanto affermato nelle Linee guida PAES del Patto dei Sindaci.

Gli Stati, quindi, saranno obbligati a introdurre norme affinché il governo centrale *acquisti esclusivamente prodotti, servizi ed edifici ad alta efficienza energetica*, incoraggiando gli enti pubblici, anche a livello regionale e locale, a conformarsi al ruolo esemplare del governo centrale, salvo i casi in cui prevalgono diverse esigenze di efficienza in termini di costi, fattibilità economica, idoneità tecnica e adeguata concorrenza.

In particolare, l'Allegato III, con riferimento ai requisiti di efficienza energetica per l'acquisto di prodotti, servizi ed edifici da parte del governo centrale prevede che:

- a) *si dovranno acquistare solo prodotti appartenenti alla classe di efficienza energetica più elevata possibile*, qualora gli stessi siano contemplati da un atto delegato adottato ai sensi della direttiva 2010/30/UE (recepita in Italia dal D.Lgs. 104/2012, che estende l'etichetta energetica, anche ai prodotti che contribuiscono alla conservazione dell'energia durante l'uso quali, ad es., serramenti e infissi) o da una direttiva di esecuzione della Commissione collegata.
- b) per i prodotti non contemplati da atti delegati ma indicati da una misura di attuazione della direttiva 2009/125/CE (specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi all'energia), adottata successivamente all'entrata in vigore della direttiva 2012/27/UE, bisognerà acquistare solo prodotti conformi ai parametri di efficienza energetica specificati dalla misura di attuazione;
- c) sarà obbligatorio acquistare *apparecchiature per ufficio conformi al marchio Energy Star* (Decisione 2006/1005/CE, alla quale è succeduta la Decisione 2013/107/UE);
- d) si dovranno acquistare pneumatici conformi al criterio della più elevata efficienza energetica in relazione al consumo di carburante (Reg. n. 1222/2009), salvo ragioni di sicurezza o salute pubblica;

- e) per gli appalti di servizi sarà obbligatorio richiedere nei bandi che i fornitori utilizzino esclusivamente prodotti conformi ai requisiti di efficienza energetica di cui sopra.
- f) sarà obbligatorio acquistare o concludere nuovi contratti per affittare esclusivamente edifici conformi almeno *ai requisiti minimi di prestazione energetica di cui all'art. 5, par. 1 della direttiva*. Eccezioni sono previste per gli acquisti diretti ad avviare una ristrutturazione profonda o una demolizione, o finalizzati a rivendere l'edificio (senza che l'ente pubblico se ne avvalga per i fini che gli sono propri), o per salvaguardare edifici di particolare valore storico-architettonico.

È previsto che la conformità con i citati requisiti *sia verificata attraverso gli attestati di prestazione energetica* di cui all'art. 11 della direttiva 2010/31/UE (Direttiva "*Edifici a Energia Quasi Zero*") che, tuttavia, non è ancora operativa nel nostro ordinamento (il termine previsto era il 9 luglio 2012), e per la quale l'Italia rischia di essere deferita alla Corte di Giustizia Europea.

3. DECRETO LEGISLATIVO 102 – 2014

3.1 EFFICIENZA ENERGETICA DECRETO LEGISLATIVO N. 102/2014 DI ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2012/27/UE - NOTA ANCE

Previste misure di efficientamento energetico edifici pubblici istituzione Fondo nazionale efficienza energetica edilizia e nuova disciplina deroghe materia spessore involucro e distanze minime tra edifici

Il 19 luglio 2014 è entrato in vigore il **decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102**, di Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

Il testo, pubblicato sulle Gazzette Ufficiali n. 165 del 18 luglio 2014 e n. 170 del 24 luglio 2014, definisce un insieme di misure per migliorare l'efficienza energetica, in tutti i settori, utili al raggiungimento dell'obiettivo nazionale di risparmio energetico al 2020, ovvero una riduzione di 20 milioni di TEP dei consumi di energia primaria.

Tra i contenuti del decreto, sono di seguito riportate le principali **misure in materia di efficienza energetica in edilizia**.

Miglioramento della prestazione energetica degli immobili della Pubblica Amministrazione centrale (art. 5)

A partire dal 2014 e fino al 2020, gli **immobili della Pubblica Amministrazione centrale** dovranno essere **sottoposti a riqualificazione energetica nella misura minima del 3% all'anno** della superficie coperta utile climatizzata. In alternativa, dovranno essere realizzati interventi che comportino un risparmio energetico cumulato per lo stesso periodo di almeno 0,04 Mtep.

Per tali interventi il decreto prevede stanziamenti di risorse **fino a 380 milioni di euro** per l'intero periodo 2014-2020, che potranno eventualmente essere integrati con le risorse derivanti dagli strumenti di incentivazione comunitari, nazionali e locali dedicati all'efficienza energetica nell'edilizia pubblica e con risorse dei Ministeri interessati.

Sono **esclusi** dal programma di interventi:

1. gli immobili con superficie coperta utile totale inferiore a 500 m². Tale soglia a partire dal 9 luglio 2015 è ridotta a 250 m²;
2. gli immobili vincolati ai sensi del Codice dei beni culturali e del paesaggio, nella misura in cui gli interventi modificherebbero in maniera inaccettabile il loro carattere o aspetto;
3. gli immobili destinati a scopi di difesa nazionale, ad eccezione di alloggi e uffici;
4. gli immobili adibiti a luoghi di culto e attività religiose.

Al fine di elaborare il programma di riqualificazione, le Pubbliche Amministrazioni centrali predisporranno, entro il 30 settembre per il 2014 ed entro il 30 giugno per ciascuno degli anni

successivi, proposte di intervento sugli immobili dalle stesse occupati, e le trasmetteranno, entro i quindici giorni successivi, al Ministero dello sviluppo economico.

Le proposte saranno formulate sulla base di appropriate diagnosi energetiche o faranno riferimento agli interventi di miglioramento energetico previsti dall'Attestato di prestazione energetica.

Sulla base delle proposte pervenute, il Ministero dello sviluppo economico predisporrà il programma di interventi entro il 30 novembre di ogni anno.

Per la definizione del programma saranno applicati i seguenti **criteri** di individuazione:

- ottimizzazione dei tempi di recupero dell'investimento, anche con riferimento agli edifici con peggiore indice di prestazione energetica;
- minori tempi previsti per l'esecuzione dell'intervento;
- entità di eventuali forme di cofinanziamento.

Le **modalità** per l'esecuzione del programma verranno definite con decreto da emanare entro 30 giorni dall'entrata in vigore del decreto.

Fondo nazionale per l'efficienza energetica (art. 15)

E' istituito presso il Ministero dello Sviluppo economico il “**Fondo nazionale per l'efficienza energetica**”, di natura rotativa, destinato a sostenere il **finanziamento di interventi di efficienza energetica**, realizzati anche attraverso le ESCo, il ricorso a partenariato pubblico-privato, società di progetto o di scopo, relativamente alle seguenti finalità:

- interventi di miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici di proprietà della Pubblica Amministrazione;
- realizzazione di reti per il teleriscaldamento e per il teleraffrescamento;
- efficienza energetica dei servizi e infrastrutture pubbliche, compresa l'illuminazione pubblica;
- efficientamento energetico di interi edifici ad uso residenziale, compresa l'edilizia popolare;
- efficienza energetica e riduzione dei consumi di energia nei settori dell'industria e dei servizi.

Il Fondo sarà articolato in due sezioni destinate alla concessione di garanzie e all'erogazione di finanziamenti, direttamente o attraverso banche e intermediari finanziari, inclusa la Banca Europea degli Investimenti.

Potranno avere accesso al Fondo anche gli interventi di realizzazione e ampliamento di reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento, avviati tra il 29 marzo 2011 e il 19 luglio 2014.

Le priorità, i criteri e le **modalità di funzionamento del Fondo** saranno stabiliti con uno o più decreti da emanarsi entro 90 giorni dall'entrata in vigore del decreto.

Priorità nell'accesso al Fondo sarà comunque attribuita agli interventi volti a:

- creare nuova occupazione;
- migliorare l'efficienza energetica dell'intero edificio;
- promuovere nuovi edifici a energia quasi zero;
- introdurre misure di protezione antisismica in aggiunta alla riqualificazione energetica;
- realizzare reti per il teleriscaldamento e per il teleraffrescamento in ambito agricolo o comunque connesse alla generazione distribuita a biomassa.

Il Fondo sarà alimentato con **circa 70 milioni di euro all'anno** per il periodo 2014-2020, che saranno integrati con eventuali contributi volontari delle P.A., con le risorse derivanti dai fondi strutturali europei e con i proventi delle sanzioni per il mancato rispetto degli obblighi (sanzioni previste all'articolo 16 del decreto in esame).

Deroghe per gli spessori di murature e solai e per le distanze minime tra gli edifici (art. 14)

I commi 6 e 7 dell'articolo 14 sostituiscono le previsioni contenute nel D.Lgs. n. 115/2008, ai commi 1 e 2 dell'articolo 11, in merito agli extra-spessori e alle distanze minime permessi nel caso di nuove costruzioni con migliore prestazione energetica e nel caso di riqualificazioni energetiche di edifici esistenti.

Nel caso di **edifici di nuova costruzione** che presentano una riduzione minima del 20% dell'indice di prestazione energetica previsto dal D.Lgs. n.192/2005 e s.m.i., **non è considerato, nei computi** per la determinazione dei volumi, delle altezze, delle superfici e nei rapporti di copertura, lo **spessore** delle murature esterne, delle tamponature o dei muri portanti, dei solai intermedi e di chiusura superiori ed inferiori, eccedente ai 30 centimetri, fino ad un massimo di ulteriori 30 centimetri per tutte le strutture che racchiudono il volume riscaldato, e fino ad un massimo di 15 centimetri per i solai intermedi.

Nel rispetto dei suddetti limiti è permesso **derogare** a quanto previsto dalle normative nazionali, regionali o dai regolamenti edilizi comunali, in merito alle **distanze minime** tra edifici, alle distanze minime dai confini di proprietà, alle distanze minime di protezione del nastro stradale e ferroviario, e alle **altezze massime** degli edifici, nel rispetto delle distanze minime riportate dal codice civile.

Nel caso di interventi di **riqualificazione energetica di edifici esistenti** che comportino maggiori **spessori** delle murature esterne e degli elementi di chiusura superiori ed inferiori necessari ad ottenere una riduzione minima del 10% dei limiti di trasmittanza previsti dal D.Lgs. n.192/2005 e s.m.i., è permesso **derogare** a quanto previsto dalle normative:

- in merito alle **distanze minime** tra edifici, alle distanze minime dai confini di proprietà e alle distanze minime di protezione del nastro stradale, nella misura massima di 25 centimetri per il maggiore spessore delle pareti verticali esterne;
- in merito alle **altezze massime** degli edifici, nella misura massima di 30 centimetri, per il maggiore spessore degli elementi di copertura.

La deroga può essere esercitata nella misura massima da entrambi gli edifici confinanti.

4. MODELLO *R5C1* DELLA UNI EN 13790

Allo scopo di disporre di un metodo di calcolo dei consumi energetici che tenga conto delle varie problematiche dianzi esposte (variabilità dei dati climatici esterni ed effetti degli accumuli termici nelle strutture edilizie) si è cercato in sede europea di costruire un modello equivalente all'edificio reale ma al contempo sufficientemente semplice da utilizzare rispetto ai codici di calcolo più sofisticati dianzi indicati.

La Norma UNI EN 13790:2008 propone un modello a parametri concentrati, detto a cinque resistenze ed una capacità, *R5C1*, che sarà analizzato nel dettaglio nel prosieguo.

La metodologia delle reti termiche per gli edifici è presente già dagli anni '80 ed è stata proposta per due tipologie di elaborazione:

- *Progettazione degli impianti HVAC degli edifici in modo rapido ed efficiente;*
- *Verifiche energetiche di edifici esistenti.*

Il primo caso, detto *forward*, è tipico della progettazione di nuovi impianti: si hanno i dati di progetto e si utilizzano i modelli di calcolo al fine di conoscere i carichi termici dinamici.

Il secondo caso, detto *backward*, parte generalmente dai dati di consumo di edifici esistenti e cerca di identificarne i parametri fondamentali (conduttanze e capacità termiche) in modo da effettuare verifiche energetiche e/o ottimizzazioni sui consumi.

Il modello europeo proposto dalla UNI EN 13790 appartiene alla prima categoria di modelli. Esso nasce per un calcolo rapido dei bilanci energetici (carichi termici o energia primaria stagionale) sia con passi di calcolo orari che, volendo, anche mensili.

Con opportune modifiche è anche possibile utilizzare il modello per il caso *backward*, ad esempio con tecniche di identificazione parametrica delle grandezze costitutive (conduttanze e capacità termica totale).

Nel corso del presente studio si vedranno i risultati ottenuti con il metodo di calcolo orario ritenendo il metodo mensile molto grossolano e capace di annullare tutti i vantaggi ottenibili col metodo orario che si può considerare un reale metodo dinamico.

4.1 PRESENTAZIONE DEL MODELLO *R5C1*

La Norma UNI EN 13790:2008 indica un modello di edificio detto "*a cinque resistenze ed una capacità*", *R5C1*³⁶, rappresentato in Figura 6, valido per un edificio isolato. La presenza di zone limitrofe costituenti diverse zone termiche è stata in questa prima fase di studio trascurata.

³⁶ Si osserva che il modello *R5C1* è del tipo a *parametri concentrati* (*Lumped parameters, LP*) per cui tutti gli effetti dovuti alle dimensioni superficiali dei componenti edilizi non sono considerati. Per una corretta valutazione del comportamento termico degli edifici occorrerebbe uno studio completo di *Computer Fluid Dynamics (CFD)* di grande complessità sia analitica che di calcolo. Tale procedura, inoltre, presenterebbe notevoli difficoltà sia procedurali che di calcolo in quanto si richiedono codici di calcolo complessi e costosi e grandi risorse computazionali. In ogni caso non è possibile alcun confronto fra il modello qui proposto e il modello completo *CFD*.

L'obiettivo principale è stato quello di predisporre una metodologia di calcolo rapida ed affidabile.

Tale modello *R5C1*, fra i tanti presenti in letteratura (vedi *Bibliografia*), risulta mediamente complesso presentando sia le conduttanze termiche che la capacità termica dell'edificio.

Il fatto che sia presente una sola capacità termica, pur rappresentando una semplificazione di calcolo notevole, riduce notevolmente la complessità degli scambi termici radiativi all'interno dell'edificio.

Infatti questi scambi avvengono sia con l'aria e le suppellettili presenti all'interno che con le masse delle pareti interne.

Al fine di tenere conto di questi scambi termici radiativi, il modello propone alcune conduttanze, dette di *accoppiamento* e discusse più avanti, fra i nodi interni (temperatura delle superfici, temperatura delle masse e temperatura dell'aria) che costituiscono il punto di maggior delicatezza e criticità del modello stesso.

Del resto il problema di una cavità radiativa non si risolve definendo tre conduttanze lineari di accoppiamento ma in modo più complesso e articolato.

Lo sviluppo analitico che qui si presenta è relativo ad un edificio rappresentato come *zona unica* e quindi senza scambi con zone limitrofe a temperature interne diverse.

Si osservi che questa non è una limitazione del modello ma solo una semplificazione necessaria per potere testare il modello in modo semplice e diretto. Nulla vieta che il modello possa essere generalizzato per considerare tutti i casi possibili.

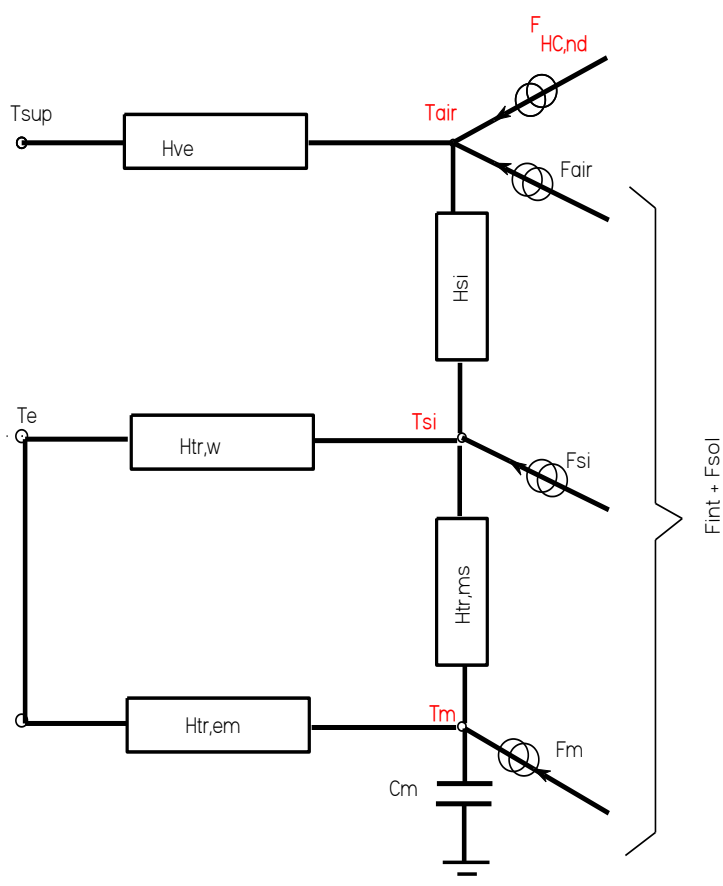


Figura 6: Modello R5C1 proposto dalla UNI EN 13790

Con riferimento alla Figura 6 si ha il seguente simbolismo:

- T_{sup} Temperatura dell'aria di ventilazione, °C;

- T_e Temperatura dell'aria esterna, °C;
- T_{si} Temperatura superficiale interna, °C;
- T_m Temperatura di massa delle pareti opache, °C;
- T_{air} Temperatura dell'aria interna, °C
- F_m Aliquota del flusso solare ed interno che arriva alle pareti, W;
- F_{si} Aliquota del flusso solare ed interno che arriva alle superficie delle pareti interne, W;
- F_{air} Aliquota del flusso interno che arriva all'aria ambiente, W.

Quanto sopra indicato vale per il modello orario semplificato. La norma prevede di utilizzare lo stesso circuito equivalente per il modello medio mensile. Tuttavia in questa sede si presenterà solo il modello orario per i motivi illustrati nel prosieguo.

Nel modello *R5C1* si hanno due potenziali esterni (T_{sup} e T_e) e tre flussi F_m , F_{si} ed F_{air} . Le incognite risultano essere le tre temperature T_m , T_{si} e T_{air} e il flusso totale $F_{HC,nd}$.

La comprensione del modello *R5C1* risulta più agevole se si osservano gli scambi energetici di Figura 7 per un generico ambiente.

In pratica ai nodi T_{si} , T_{air} e T_m (segnati in rosso in quanto incognite del problema del modello *R5C1*) arrivano aliquote di energia proveniente dalla radiazione solare, F_{sol} e dalle sorgenti interne, F_{int} .

Le intensità di questi flussi energetici dipendono dagli scambi radiativi ad alta lunghezza d'onda fra le pareti e fra queste e l'aria ambiente.

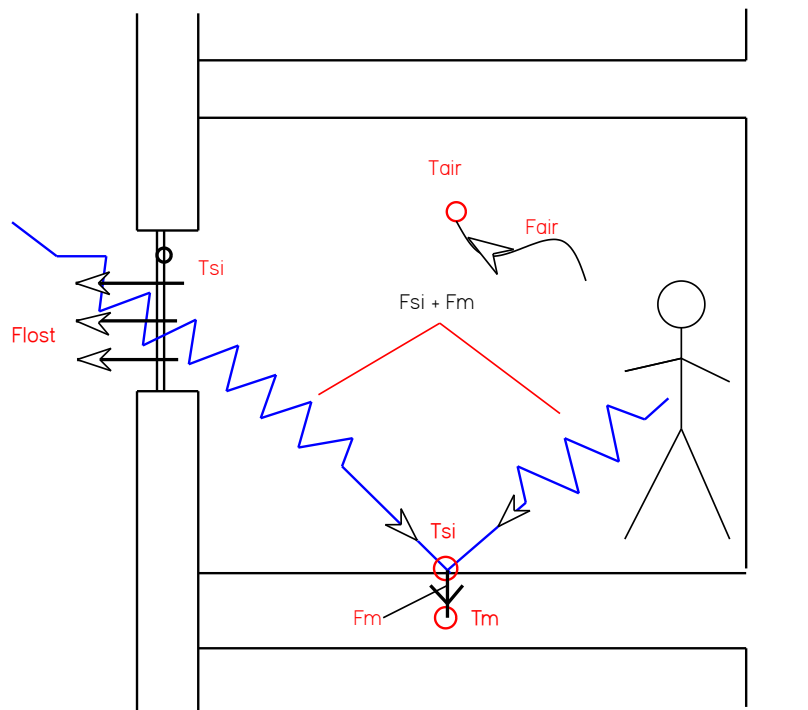


Figura 7: Schema degli scambi energetici per un ambiente

La norma UNI EN 13790 propone direttamente le relazioni di calcolo delle conduttanze di accoppiamento, fra l'altro non fornendone alcuna giustificazione analitica.

4.2 DEFINIZIONE DELLE CONDUTTANZE, DELLA CAPACITÀ TERMICA E DEI FLUSSI TERMICI SCAMBIATI

Le conduttanze e la capacità termica presenti in Figura 6 sono definite nella Norma UNI EN 13790. Si riportano qui di seguito le definizioni generali.

Per i casi particolari si rimanda alla suddetta norma.

4.2.1 CONDUTTANZA DI VENTILAZIONE, H_{VE}

La conduttanza di ventilazione è definita dalla relazione:

$$H_{ve} = \rho_a c_a \sum b_{ve,k} q_{ve,k,mn}$$

ove:

- H_{ve} conduttanza di ventilazione, W/K;
- $\rho_a c_a$ capacità termica per unità di volume dell'aria di ventilazione, pari a 1200 J/(Km³);
- $b_{ve,k}$ fattore correttivo che tiene conto della temperatura dell'aria di ventilazione per la zona k rispetto alla temperatura di alimentazione, T_{sup} ;
- $q_{ve,k,mn}$ portata di ventilazione per la zona k, m³/s.

La norma prevede correzioni nel caso di recupero di calore. Si rimanda ad essa per una descrizione dettagliata del calcolo di H_{ve} .

4.2.2 CONDUTTANZA DI TRASMISSIONE ATTRAVERSO LE FINESTRE, H_{TR,W}

La definizione è data dalla relazione:

$$H_{tr,w} = b_{tr,w} \sum A_j U_{wj}$$

ove si ha:

- $H_{tr,w}$ conduttanza per le superfici vetrate, W/K;
- $b_{tr,w}$ fattore di correzione nel caso si abbia una differenza di temperatura diversa da quella di progetto $t_a - t_e$;
- A_j Area della superficie delle finestre, m²;
- U_{wj} Trasmittanza della generica finestra j, W/(m²K).

4.2.3 CONDUTTANZA DI TRASMISSIONE DELLE PARETI OPACHE, H_{TR,OP}

La trasmittanza delle pareti opache, corretta per i casi di differenza di temperatura diversa da quella di progetto, è data dalla relazione:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$$

ove è:

- H_D conduttanza per trasmissione diretta verso l'esterno, W/K;
- H_g conduttanza per trasmissione diretta verso il terreno, W/K;
- H_U conduttanza per trasmissione diretta verso ambienti non climatizzati, W/K;
- H_A conduttanza per trasmissione diretta verso edifici adiacenti, W/K.

La generica forma di ciascuna delle suddette conduttanze è del tipo:

$$H_x = b_{tr,x} \left(\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k + \sum_j \xi_j \right)$$

ove si ha:

- A_i Area dell'elemento i della superficie dell'involucro, m^2 ;
- U_i Trasmittanza dell'elemento i , $W/(m^2K)$;
- l_k lunghezza del ponte termico lineare k , m ;
- ψ_k Trasmittanza termica lineare del ponte termico k , W/m ;
- ξ_i Trasmittanza termica puntuale del ponte termico puntuale j , W/K ;
- $b_{tr,x}$ Fattore correttivo per differenze di temperatura non coincidente con quella di progetto.

Conduttanze di Accoppiamento $H_{tr,em}$ e $H_{tr,ms}$

Al fine di tenere conto degli scambi radiativi di lunghezza d'onda lunga ($> 3 \mu m$) la Norma UNI EN 13790 prevede che la conduttanza delle pareti opache, $H_{tr,op}$, si suddivida in due parti.

Si osservi che la $H_{tr,op}$ dovrebbe collegare i nodi T_e e T_{si} se non si tenesse conto dello scambio radiativo di alta lunghezza d'onda.

La norma suggerisce il calcolo delle seguenti conduttanze:

$$H_{tr,ms} = h_{ms} A_m$$

ove:

- h_{ms} è il coefficiente di convezione termica che la Norma pone pari a $9.1 W/(m^2K)$;
- A_m è l'area della massa efficace, m^2 .

La Norma UNI EN 13790 non specifica i motivi della scelta del coefficiente h_{ms} pari a $9.1 W/(m^2K)$. Questo dipende, fra l'altro, dalle caratteristiche delle pareti, dalla loro massa e dall'isolante eventualmente presente e dalle loro capacità di scambio radiativo oltre che dalle condizioni dello scambio (temperature in gioco).

Si riporta nelle formule sopra indicate il valore proposto apoditticamente dalla Norma ma si vedrà nel prosieguo, alla luce delle sperimentazioni fatte, come questo valore debba essere modificato per avere un corretto funzionamento del modello *R5C1*. L'area della massa efficace è data dalla relazione:

$$A_m = \frac{C_m^2}{\sum A_j \kappa_j^2}$$

ove:

- C_m è la capacità termica interna dell'edificio, J/K ;
- A_j è l'area dell'elemento j , m^2 ;
- κ_j è la capacità termica interna per unità di area dell'elemento j , in $J/(m^2K)$.

Il valore di κ_j è definito nella UNI EM 13786 in modo analitico ma può anche essere determinato in modo forfettario mediante il Prospetto 19 della Norma UNI TS 11300/1.

La capacità termica di massa dell'intero edificio è data dalla relazione:

$$C_m = \sum \kappa_j A_j$$

La UNI EN 13790 indica anche un metodo semplificato, rivelatosi sufficientemente realistico nelle analisi effettuate nel presente lavoro, per calcolare A_m e C_m mediante la seguente tabella:

Classe	A_m	C_m
Molto leggera	$2.5 * A_f$	$80000 * A_f$
Leggera	$2.5 * A_f$	$110000 * A_f$

Media	2.5* A _f	165000* A _f
Pesante	3.0* A _f	260000* A _f
Molto pesante	3.5* A _f	370000* A _f

Tabella 2: Valori di default per il calcolo di A_m e di C_m

Osservazione sulla Capacità Termica C_m

E' opportuno osservare che la capacità termica di massa non è quella statica dell'edificio ma quella dinamica o efficace. Infatti a causa della conducibilità finita delle pareti interne la penetrazione dell'onda termica avviene con due fenomeni fondamentali: l'attenuazione e lo sfasamento, funzioni dello spesso di penetrazione.

In pratica, con riferimento alla frequenza giornaliera delle variazioni periodiche di temperatura interna, lo strato di pareti interessati all'accumulo energetico è molto limitato.

La EN ISO 13786 fornisce indicazioni sul metodo di calcolo delle capacità termiche di superficie delle pareti. Tuttavia si è potuto osservare che i risultati delle simulazioni sono stati più conformi a quelli ottenuti con simulazioni con il metodo TFM prendendo in considerazione uno spessore massimo di 0.04 ÷ 0,06 m per ciascuna parete corrispondente ad una penetrazione con periodo di tempo dell'ordine dell'ora.

Nell'ipotesi di onde termiche sinusoidali, infatti, e con riferimento ad uno strato semi infinito, la profondità di penetrazione è data da:

$$\delta = \sqrt{\lambda T / \pi \rho c}$$

che per T= 3600 s e materiali tipici delle pareti moderne (mattoni forati, mattoni pieni, ...), vedi Tabella 3, porta ad avere valori dell'ordine di qualche centimetro, come ipotizzato.

Materiale	λ (W/(mK))	C (J/(kgK))	ρ (kg/m ³)	δ per T=3600 s (m)	δ per T=86400 s (m)
Mattone semipieno	0.36	850	1000	0.022	0.108
Isolante	0.04	680	50	0.037	0.180
Mattone vuoto	0.25	850	700	0.022	0.108

Tabella 3: Calori degli spessori di penetrazione per vari periodi

Per un periodo di un giorno (86400 s) si ha una profondità maggiore, dell'ordine della decina di centimetri. Per periodo stagionali, non calcolati nella tabella precedente, si hanno penetrazioni ancora maggiori. In quest'ultimo caso si hanno notevoli differenze fra le moderne murature (leggere e spesse 0,25- 0,35 m) e quelle degli edifici in muratura portante (spessori da 0,6 -1.5 m).

Ai fini dell'applicazione delle UNI TS 11300, per il calcolo dell'energia primaria stagionale e la certificazione energetica, il calcolo della capacità termica dinamica C_m non appare molto importante ed è possibile riferirsi a valori sintetici, come suggerito dalle stesse norme.

Nel caso del modello dinamico R5C1, proposto dalla UNI EN 13790, la capacità termica, C_m, è un componente essenziale della rete equivalente. Essa determina di fatto il transitorio termico e quindi la risposta stessa del sistema alle forzanti esterne.

Inoltre, come si vedrà più avanti con la risoluzione analitica del modello, la C_m è a denominatore dei termini di bilancio e quindi un valore elevato contribuisce a smorzare gli effetti di variazione delle grandezze calcolate e, viceversa, un valore troppo basso le esalta eccessivamente.

L'esperienza nell'utilizzo del modello consiglia di applicare i valori indicati in Tabella 2 o di calcolare C_m con spessori di pareti variabili da 0.03 a 0,06 m.

Anche il ricorso ai metodi di calcolo indicati dalla UNI EN 13786 appaiono complessi e non giustificati per il modello *R5C1*. Del resto le ipotesi, ivi considerate, di parete indefinita ed isotermica riconducibile ad un quadripolo equivalente è accademica e le complessità di calcolo appaiono superflui.

Coefficienti di scambio termico per le Conduttanze di Accoppiamento

La conduttanza di accoppiamento $H_{tr,em}$ è definita dalla relazione:

$$H_{tr,em} = \frac{1}{\frac{1}{H_{tr,op}} - \frac{1}{H_{tr,ms}}}$$

con il simbolismo sopra descritto. In pratica $H_{tr,em}$ è ottenuta dal parallelo fra $H_{tr,op}$ e $-H_{tr,ms}$.

Infine la trasmittanza di accoppiamento fra il nodo T_s e T_m è data da $H_{tr,is}$ definita dalla relazione:

$$H_{tr,is} = h_{is} A_{tot}$$

ove:

- h_{is} è il coefficiente di scambio termico fra i due nodi T_s e T_m , $W/(m^2K)$;
- A_{tot} è l'area di tutte le superfici che si affacciano sulla zona dell'edificio, m^2 .

Il coefficiente h_{is} è definito dalla Norma pari a $3.45 W/(m^2K)$.

Si osserva, anche con riferimento agli scambi interni indicati in Figura 7, che la superficie A_{tot} è riferita a tutte le superfici interne dell'edificio (o dell'ambiente nel caso di calcolo di tipo *multi room*) e non alle sole superfici di scambio termico verso l'esterno, come normalmente si calcola con le UNI TS 11300 (superfici esterne del volume lordo riscaldato). In pratica occorre tenere in conto tutte le superfici che effettuano scambi radiativi con l'aria ambiente (*cavità radiativa*).

Apporti interni, F_{int}

Gli apporti interni sono dati, in termini di flusso termico in W, da tutte le sorgenti interne comprendenti persone, lampade, motori e recuperi energetici degli impianti attivi (riscaldamento o raffrescamento, ventilazione e ACS).

La Norma indica dettagliatamente come effettuare il calcolo di questi flussi. Ad essa si rimanda per la formulazione completa.

Si osserva come la formulazione di F_{int} sia in genere di tipo statico (valore unico giornaliero) e quindi con un valore per il giorno medio del mese considerato nel calcolo stagionale.

Nel caso di un metodo di calcolo dinamico è possibile avere una formulazione oraria del flusso interno e cioè occorre tenere conto del profilo d'uso sia degli occupanti che delle varie sorgenti interne (ad esempio per l'ACS, l'illuminazione, per il recupero energetico dagli impianti, ...) come illustrato in Figura 8.

Questo tipo di formulazione è tipica dei programmi di calcolo dei carichi termici estivi e caratterizzano la variabilità oraria delle sorgenti interne. Lo stesso criterio si deve adottare con il metodo orario qui proposto ed analizzato.

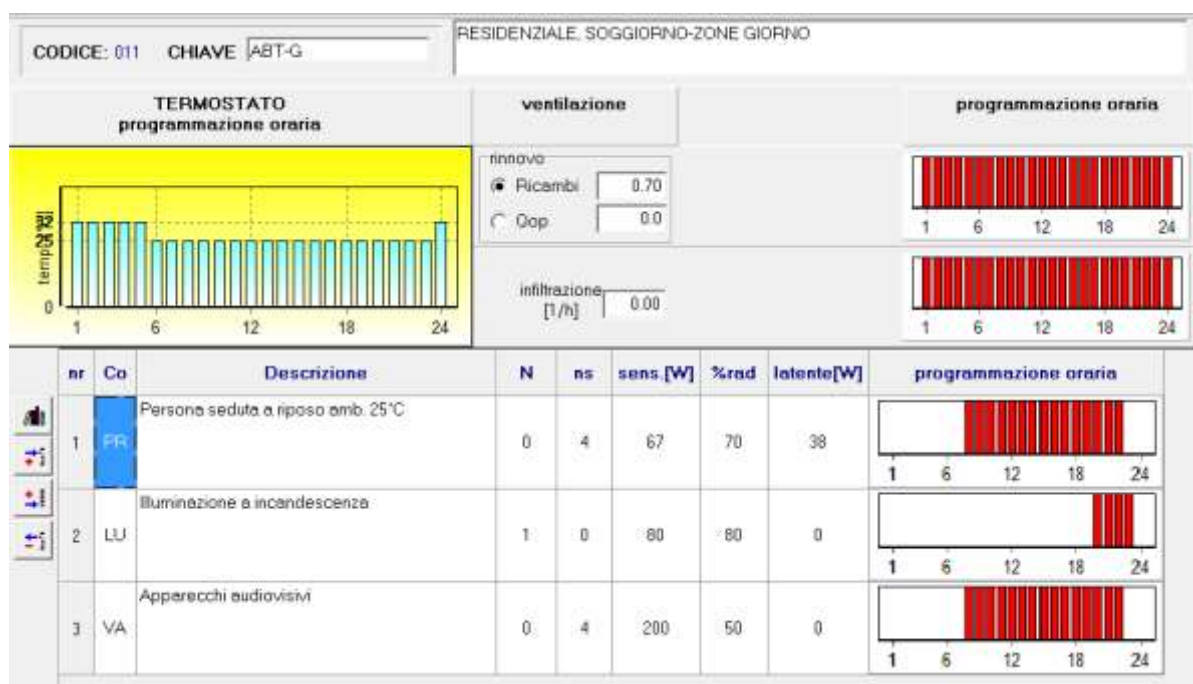


Figura 8: Esempio di definizioni delle sorgenti interne con profilo d'uso orario

Apporti solari, F_{sol}

Il flusso solare, in W, è dato dalla relazione:

$$F_{sol} = F_{sh} A_{sol,k} I_{sol} - f_{rk} F_{r,k}$$

ove:

- F_{sol} Flusso solare totale, W;
- $A_{sol,k}$ area di captazione efficace della k.ma superficie, m²;
- F_{sh} fattore di ombreggiamento della k.ma superficie;
- I_{sol} valore medio dell'irraggiamento solare sulla k.ma superficie, W;
- $F_{r,k}$ extra flusso ad alta lunghezza d'onda verso la volta celeste, W;
- f_{rk} fattore di vista fra l'elemento k e il cielo.

La Norma indica dettagliatamente come calcolare F_{rk} . Informazioni ancora più dettagliate sono disponibili nella UNI TS 11300.

Anche in questo caso occorre un profilo orario per rispondere alle esigenze di un calcolo dinamico.

L'irraggiamento solare indicato nella precedente relazione è il valore medio giornaliero, come indicato dalla UNI 10349 o dalle tabelle Enea.

Tuttavia per un andamento orario dell'irraggiamento solare occorre avere le serie storiche dei valori medi orari giornalieri per ciascun mese. Tali dati possono essere reperiti in letteratura dai data base internazionali (ad esempio IGDG, o *Weather Data* di *ENERGY PLUS*®).

Nei casi in cui non si abbiano dati sperimentali per le località di riferimento si possono utilizzare metodi di *detrending* a partire da dati medi giornalieri, quali quelli forniti dalla UNI 10349 (vedi più avanti).

In assenza di dati orari statistici si possono implementare metodi di calcolo di *detrending* dai dati medi giornalieri più facilmente reperibili, vedi UNI 10349.

Flusso di energia al nodo T_{air}

Il flusso di energia interna verso il nodo T_{air} è dato dalla relazione:

$$F_{is} = 0.5F_{int}$$

Con il simbolismo sopra indicato. Ne caso del metodo orario F_{is} non è un valore unico ma un vettore di dati orari che deve essere fornito al modello. E' anche possibile un calcolo automatico interno alle routine di calcolo.

Flusso verso il nodo T_s

E' dato dalla relazione:

$$F_{st} = \left(1 - \frac{A_m}{A_t} - \frac{H_{tr,w}}{9.1A_t} \right) [0.5F_{int} + 0.5F_{sol}]$$

Con il simbolismo già indicato. La Norma non fornisce alcuna giustificazione su questa definizione.

Come per F_{is}, anche F_{st} e successivamente F_m, sono vettori orari.

Flusso verso il nodo T_m

E' data dalla relazione:

$$F_m = \frac{A_m}{A_t} (0.5F_{int} + 0.5F_{sol})$$

con il simbolismo sopra definito. F_m è un vettore orario.

4.3 OSSERVAZIONE SU DATI DI INPUT

Da quanto indicato nel precedente paragrafo, il calcolo delle cinque resistenze, della capacità totale interna dell'edificio e dei tre flussi di energia verso i tre nodi incogniti richiede una notevole quantità di dati.

In particolare si richiedono:

- Per le pareti *dimensioni, U_i, b_{tr,,}, α, I_s;*
- Per le finestre *dimensioni, U_i, b_{tr,,}, F_{sh}, I_s;*
- Per i flussi solari *I_s, F_s su ogni orientamento, F_{rk} con il cielo;*
- Per i flussi interni *potenze interne e di recupero;*
- Per la capacità termica *capacità termiche di superficie di ciascuna parete.*

In definitiva, al fine di predisporre le conduttanze richieste dal modello R5C1, si richiedono gli stessi dati necessari per effettuare il calcolo con i metodi tradizionali, ad esempio applicando le UNI TS 11300/1 e 2 o con il metodo di calcolo alle funzioni di trasferimento TFM.

In più occorre fornire, essendo il modello di calcolo di tipo orario, i dati orari per la temperatura media esterna e per l'irraggiamento solare.

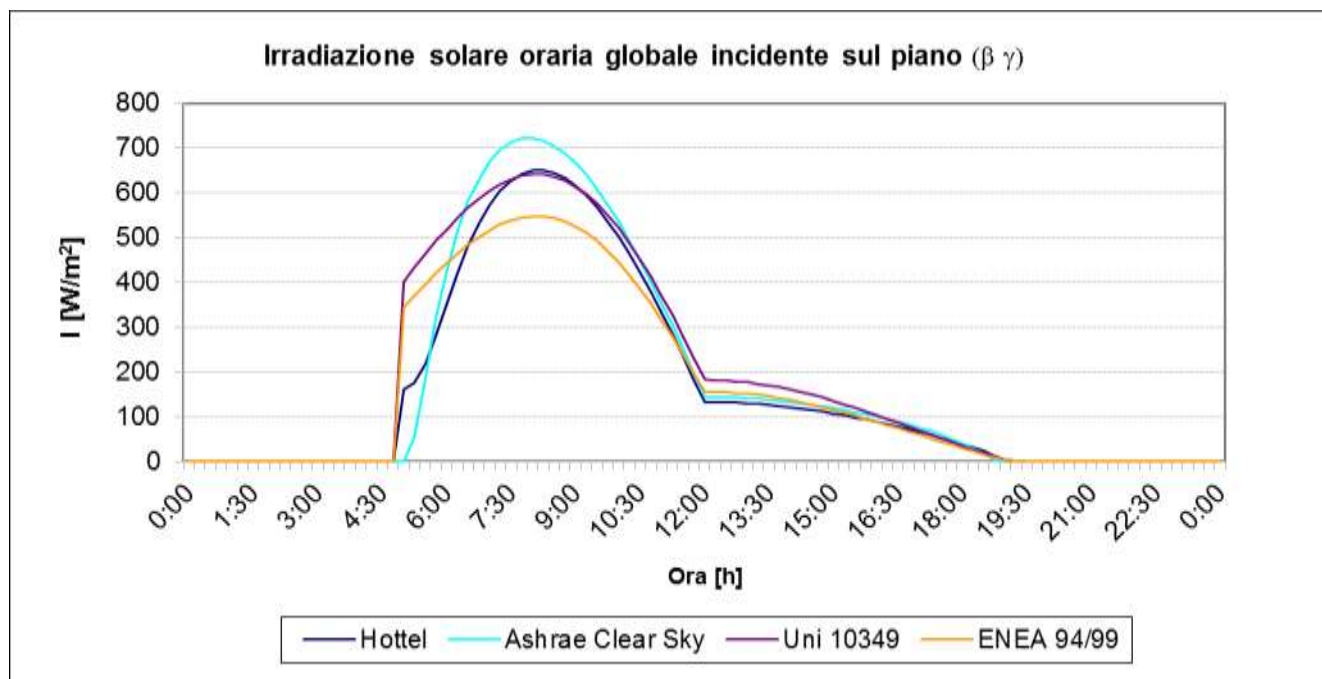


Figura 9: Esempio di detrending del flusso solare per una parete ad Est per il 21 luglio

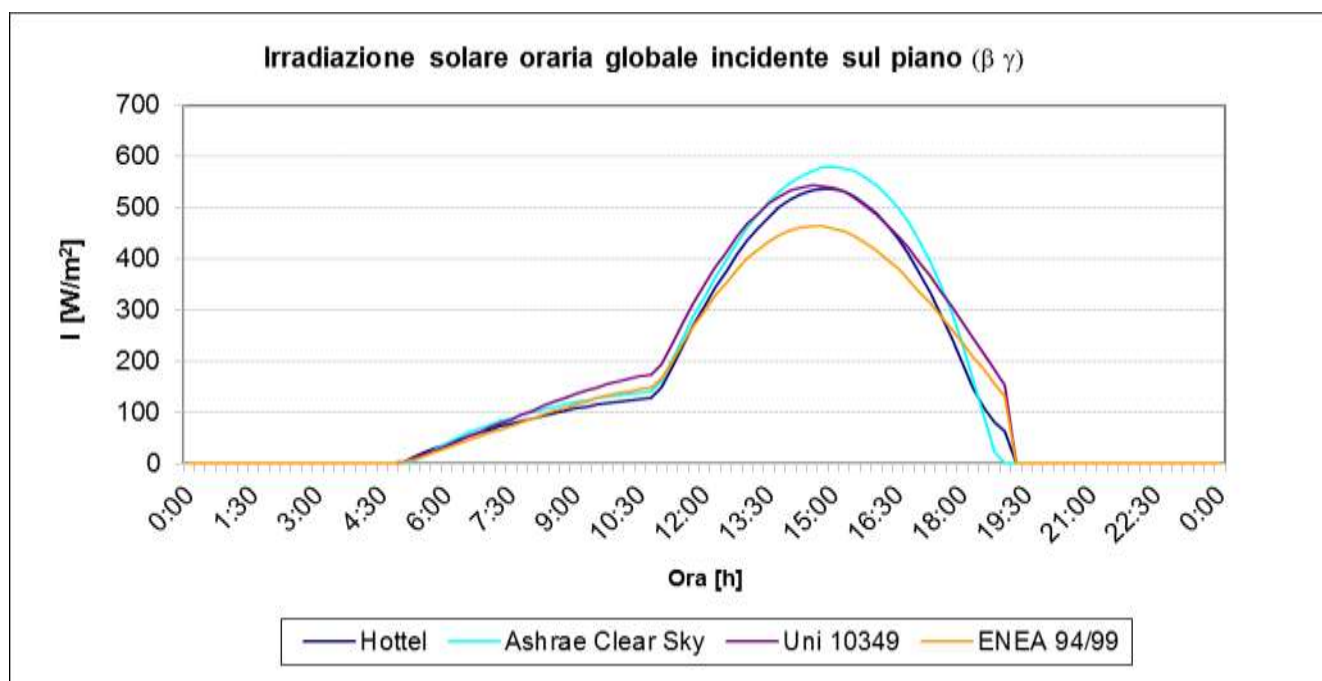


Figura 10: Esempio di detrending per una parete ad Ovest per il 21 Luglio

Inoltre, come si dirà nel prosieguo, occorre definire un profilo d'uso per le sorgenti interne (affollamento, ACS, Illuminazione, recupero energetico dagli impianti) ed un profilo d'uso per l'utilizzo degli impianti (intervalli di accensione e/o di spegnimento, valore delle temperatura di termostato con eventuale attenuazione, presenza di ventilazione meccanica controllata, valori della portata di ventilazione).

Per i dati orari, oltre ai dati storici presenti per alcuni località nei data base internazionali, è possibile utilizzare il *detrending* partendo da dati medi giornalieri, ad esempio quelli forniti dalla UNI 10349.

Nella Figura 9 e nella Figura 10 si hanno i risultati di *detrending* con vari metodo per pareti ad Est e ad Ovest, per Catania, per il giorno 21 di luglio

In Figura 11 si ha un esempio di detrending di temperatura, sempre per Catania per il 21 luglio. Pertanto non è un problema ottenere dati orari per il modello *R5C1* con soluzione dinamica oraria.

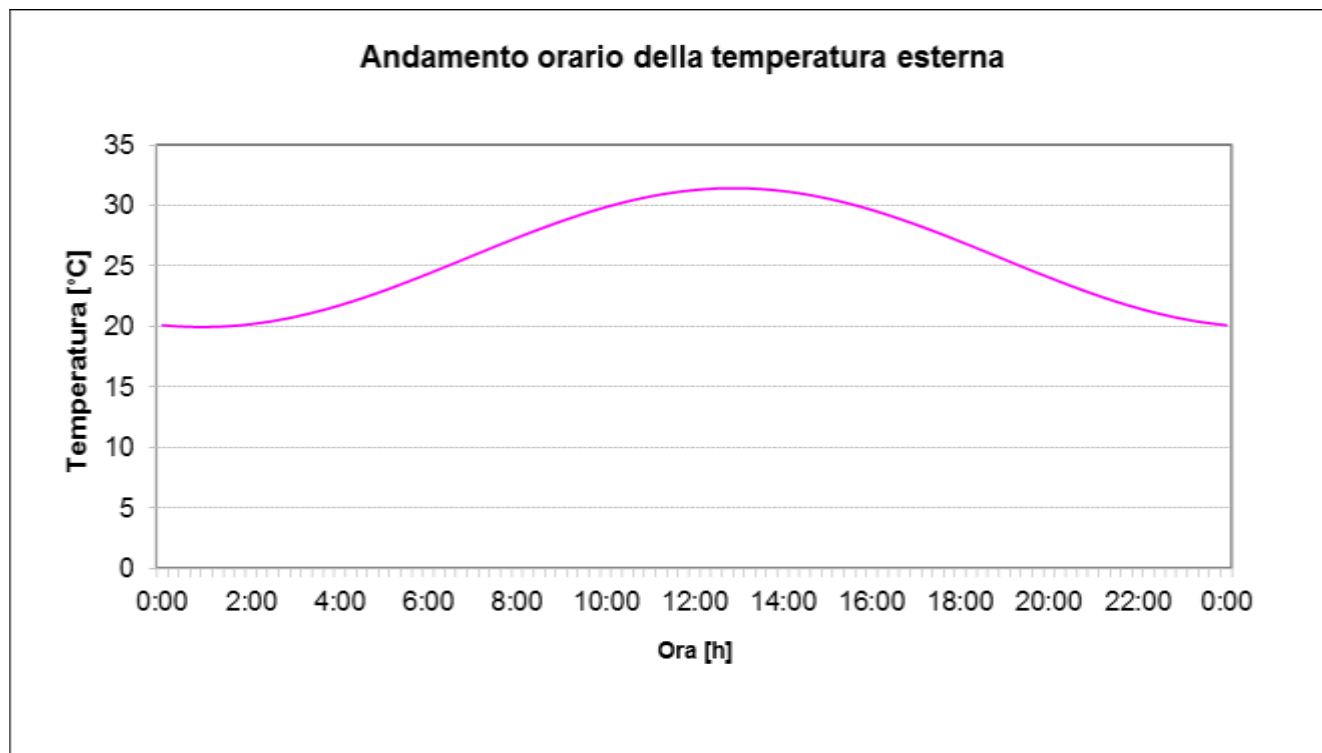


Figura 11: Esempio di detrending per la temperatura per il 21 luglio

La preparazione dei sopra indicati parametri, pur se automatizzabile, non può essere fatta oggi con programmi commerciali ma deve essere predisposta manualmente. Ciò richiede sempre una notevole attenzione da parte dell'operatore.

Inoltre, specialmente per edifici già costruiti, non sempre si hanno a disposizione le stratigrafie delle pareti ed altri dati sopra descritti.

Di fatto, data la natura di prototipizzazione di questo studio, non si hanno programmi di calcolo già predisposti per la preparazione dei dati di input per la soluzione del modello *R5C1* né per la sua risoluzione. Di conseguenza in questa fase si è predisposto un opportuno foglio di calcolo in Excel.

5. SOLUZIONE DEL MODELLO *R5C1*

La Norma UNI EN 13790 indica il modello *R5C1* ed espone in dettaglio solo il metodo di calcolo statico senza nulla indicare per il metodo orario dinamico.

Ai fini di ottenere un modello dinamico, si è allora sviluppato il metodo di calcolo utilizzando i criteri tipici della *Teoria dei Circuiti* per i casi principali analizzati.

5.1 SCELTA DEL METODO DI CALCOLO PER IL MODELLO *R5C1*

La Norma UNI EN 13790 prevede che si possa utilizzare lo stesso modello di Figura 6 con più metodi di soluzione e precisamente:

- *Metodo di calcolo orario semplificato;*
- *Metodo mensile*

Nel primo caso l'input dei dati è orario e il modello tiene conto degli effetti di transitorio termico per effetto della capacità termica C_m .

Nel secondo caso l'input dei dati è riferito al mese e allora si richiede l'introduzione di fattori correttivi (detti *fattori di utilizzo*) che dipendono dalla costante di tempo dell'edificio.

Quest'ultimo metodo ricalca molto da vicino quanto specificato anche nelle UNI TS11300 per il calcolo dell'energia media stagionale.

Si ritiene che avere a disposizione un modello con la capacità termica C_m sia un'occasione per utilizzarlo con il metodo orario semplificato. In questo modo i transitori termici e gli effetti di accumulo sono tenuti automaticamente in conto.

In definitiva l'utilizzo del metodo mensile non appare congruente con il modello stesso. Di conseguenza si svilupperà solo questo metodo di calcolo.

5.2 MODALITÀ DI UTILIZZO DEL MODELLO *R5C1*

Il modello *R5C1* può essere utilizzato in due modalità fondamentali.

5.2.1 MODALITÀ DIRETTA

Si calcola la risposta dell'edificio alle sollecitazioni interne ed esterna e in particolare si calcolano le temperature T_{air} (che può anche essere imposta), T_{si} , T_m e il flusso termico scambiato $F_{HC,nd}$.

Il flusso termico scambiato con l'esterno è sempre una variabile dipendente ed è il principale dato di calcolo.

Evoluzioni termiche dinamiche dell'edificio

L'edificio ha diverse possibilità di evoluzione termica a seconda dei vincoli imposti alle variabili.

Lo stesso modello circuitale può essere utilizzato per trovare la risposta a diverse situazioni di calcolo.

Evoluzione Libera

Se si considera l'edificio sottoposto alle variazioni delle sole temperature esterna, T_e , e di alimentazione dell'aria di ventilazione, T_{sup} , oltre ai flussi di energia per sorgenti interne e solare, allora la temperatura interna, T_{air} , e le due temperature di superficie, T_s , e di massa, T_m , varieranno liberamente, come pure il flusso scambiato $F_{HC, nd}$.

E' questo il caso di evoluzione delle variabili dipendenti quando non si ha alcun intervento degli impianti di climatizzazione.

Un edificio lasciato a se stesso evolve liberamente in modo che le temperature interne sopra indicate portino ad bilanciamento totale dei flussi termici.

Evoluzione con temperatura interna imposta

E' questo il caso in cui gli impianti di climatizzazione sono attivi e, come conseguenza diretta, la temperatura interna, T_{air} , è mantenuta al valore di settaggio, T_{set} .

Si suol dire che l'edificio è termostatato al valore desiderato e gli impianti (regolazione compresa) forniscono l'energia necessaria, con il proprio segno, per mantenere la temperatura al valore desiderato.

In questo caso il flusso $F_{HC, nd}$ è quello necessario a mantenere le condizioni di termostato e quindi è il flusso termico di riscaldamento, nel caso invernale, o il flusso termico di raffrescamento (detto anche *extraction rate*), nel caso estivo.

Non si pensi che il segno del flusso termico $F_{HC, nd}$ sia determinato univocamente dalla stagione, cioè se si è in riscaldamento o in raffrescamento. In realtà i bilanci termici sono complessi e il segno del flusso è determinato dal bilancio netto fra energia entrante ed energia uscente dall'edificio.

In questo giocano un ruolo fondamentale le forzanti, cioè l'energia solare e l'energia interna (affollamento, lampade, motori, acqua calda sanitaria, ...) oltre ai valori dei potenziali esterni (T_{sup} e T_a).

Evoluzione mista

Se gli impianti non sono sempre attivi ma subiscono uno spegnimento programmato durante alcune ore del giorno o della notte allora l'edificio si evolve con risposta libera quando l'impianto di climatizzazione è spento e con risposta a temperatura imposta quando l'impianto di climatizzazione è attivo.

Un esempio si ha nelle zone climatiche dalla C alla E nelle quali si ha un numero di ore di funzionamento variabile dalle 10 alle 18 giornaliere e quindi si preferisce attenuare gli impianti piuttosto che spegnerli per evitare gli effetti dei transitori di accensione ed avere una risposta più rapida risettando la temperatura del termostato.

Tipica è la situazione invernale in cui la temperatura interna è fissata a 20 °C quando sono presenti gli occupanti e a 16-17 °C quando gli occupanti sono fuori casa.

Nel momento in cui il programmatore di ambiente cambia la temperatura di settaggio l'impianto ha una risposta molto più rapida che nel caso di impianti che partono dalla condizione di spegnimento totale.

Nelle zone climatiche più calde, A e B, solitamente il numero ridotto di ore di funzionamento (tipicamente 8 ore al giorno) porta allo spegnimento dell'impianto.

Può anche accadere che l'impianto venga acceso per alcune ore la mattina (ad esempio dalla 6 alle 8) e per alcune ore nella sera (ad esempio dalle 17 alle 22).

In questi casi l'evoluzione termica dell'edificio è mista nel senso che è libera quando l'impianto è spento e con temperatura imposta quando l'impianto è acceso.

5.2.2 MODALITÀ INVERSA

Si calcola la risposta dell'edificio, in particolare T_{air} , T_{si} , T_m , imponendo il flusso termico $F_{HC, nd}$ esterno.

Il flusso termico è una variabile, quindi, indipendente ed è una delle forzanti esterne del sistema, unitamente ai flussi solari ed interni.

Questo metodo è sostanzialmente di verifica dei consumi energetici degli edifici e/o di verifica della funzionalità degli impianti di climatizzazione, in particolare dei corpi scaldanti nei singoli ambienti se si utilizza la modalità *multi room*.

Infatti, con il modo *multi room* è possibile analizzare l'evoluzione dei singoli ambienti e quindi anche imporre flussi termici con vari tipi di terminali.

Questa modalità di calcolo è anche utile per il calcolo predittivo della risposta dell'edificio (o degli ambienti per il caso *multi room*) alle forzanti esterne (sia climatiche che impiantistiche).

5.3 SOLUZIONI PER MODALITÀ DIRETTA

5.3.1 SOLUZIONE DEL MODELLO R5C1 DELLA UNI EN 13790 IN EVOLUZIONE LIBERA

Con riferimento alla Figura 6 che descrive il modello *R5C1*, indicando con:

- $P_1 = T_{sup}$
- $P_2 = T_e$
- $P_3 = T_m$
- $P_4 = T_s$
- $P_5 = T_{air}$
- $I_1 = F_{air}$
- $I_2 = F_{si}$
- $I_3 = F_m$
- $I_{out} = F_{HC, nd}$

si possono scrivere le seguenti equazioni di bilancio ai nodi, con il simbolismo indicato in precedenza e tendo presente che la condizione di evoluzione libera:

$$I_{out} = 0$$

- **Nodo P_5 :**

$$I_1 + G_1(P_1 - P_5) + G_5(P_4 - P_5) = 0$$

- **Nodo P_4 :**

$$I_2 + G_5(P_5 - P_4) + G_2(P_2 - P_4) + G_4(P_3 - P_4) = 0$$

- **Nodo P_3 :**

$$I_3 + G_4(P_4 - P_3) + G_3(P_2 - P_3) = C \frac{dP_3}{dt}$$

Ove per la capacità è:

$$I_C = C \frac{dP_3}{dt}$$

Per l'intero sistema dobbiamo avere che la somma delle correnti entranti dev'essere pari a quelle uscenti e cioè:

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_{ext1} + I_{ext2} = I_C$$

ove si ponga $I_{out}=0$ per l'evoluzione libera in quanto il sistema non scambia energia con gli impianti esterni. Quest'equazione è, tuttavia, ridondante.

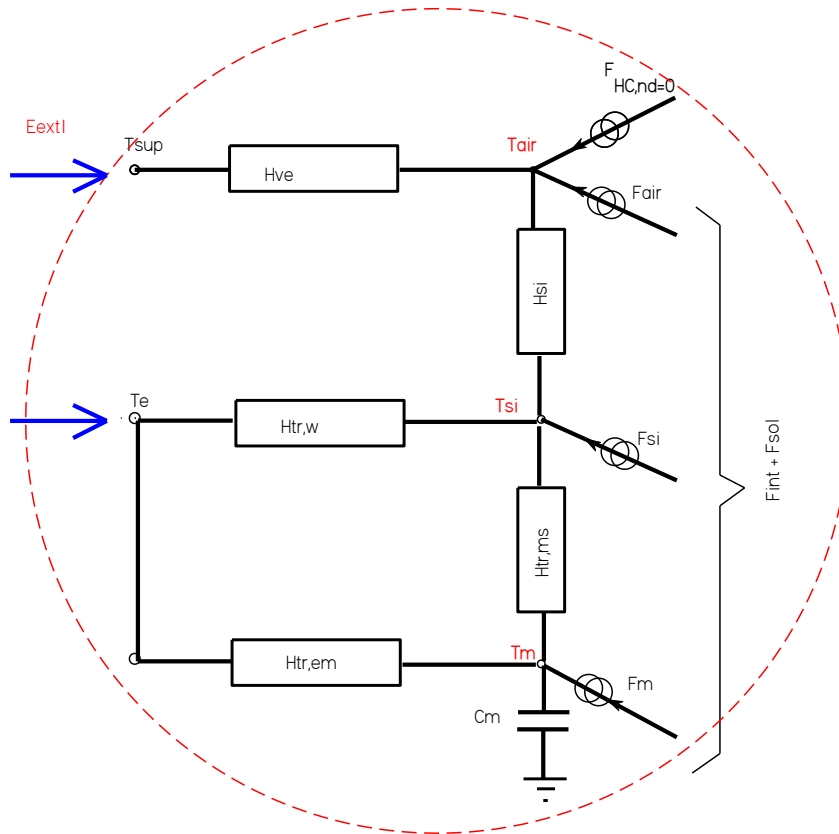


Figura 16: Superficie di controllo del sistema

Ponendo:

$$A = \frac{G_1 P_1 + I_1}{G_1 + G_5}$$

$$B = \frac{G_5}{G_1 + G_5}$$

$$C_1 = \frac{I_2 + G_5 A + G_2 P_2}{G_2 + G_4 + G_5 - G_5 B}$$

$$D = \frac{G_4}{G_2 + G_4 + G_5 - G_5 B}$$

Si ottengono i seguenti risultati espliciti:

$$\frac{dP_3}{dt} = \frac{I_3 + G_3 P_2 + G_4 C_1}{C} - \frac{G_3 + G_4 - G_4 D}{C} P_3$$

$$P_4 = C_1 + D P_3$$

$$P_5 = A + B P_4$$

La prima è un'equazione differenziale del primo ordine non omogenea della forma:

$$y'(x) = A y(x) + c(x) + d$$

con condizione iniziale $y(0)=y_0$.

La soluzione analitica è della forma:

$$y(x) = e^{ax} \int_0^x e^{-ax} (c(\xi) + d) d\xi + k_1 e^{ax}$$

Essa può essere risolta con qualsiasi metodo numerico, ad esempio con il metodo di Heun.

5.3.2 METODO DI HEUN PER L'EVOLUZIONE LIBERA

L'equazione differenziale da risolvere è del tipo:

$$\frac{dP_3}{dt} = F(t, P_3(t))$$

con:

$$P_3(t_0) = c_i$$

e T passo di integrazione. La relazione iterativa di Heun è:

$$P_3(t_{n+1}) = P_3(t_n) + \frac{T}{2} \left[F(t_n, P_3(t_n)) + F(t_{n+1}, P_3(t_n, P_3)) + T F(t_n, P_3(t_n)) \right]$$

Per l'evoluzione libera risulta:

$$F(t, P_3(t)) = -\lambda(t) P_3(t) + g(t)$$

ove si ha:

$$\lambda = \frac{G_3 + G_4 - D G_4}{C}$$

$$g = \frac{I_3 + G_3 P_2 + G_4 C_1}{C}$$

con le definizioni già date per D e C_1 .

La relazione iterativa è allora:

$$P_3(t_{n+1}) = P_2(t_n) + \frac{T}{2} \left[g(t_{n+1}) + g(t_n) (1 - \lambda(t_{n+1})T) - P_3(t_n) (\lambda(t_{n+1}) + \lambda(t_n) - T \lambda(t_n) \lambda(t_{n+1})) \right]$$

E' questo l'algoritmo implementato nella routine di *Matlab*®.

Nota P_3 si calcolano immediatamente gli altri potenziali incogniti P_4 , P_5 e il flusso I_{out} che è il flusso totale $F_{HC, nd}$

Si osservi che in una prima fase si desidera esaminare il comportamento del modello ridotto (routine principale di calcolo) a prescindere dalla complessità dell'edificio.

Si escludono, quindi, le interazioni fra zone diverse e fra ambienti non riscaldati o non raffrescati. In una seconda fase si provvederà a modificare la routine di calcolo per tenere conto delle condizioni operative.

5.3.3 INTERFACCIA PER L'UTILIZZO DEL MODELLO DI CALCOLO ORARIO

Lo scopo del lavoro qui esposto è di verificare la validità del modello *R5C1* proposto dalla UNI EN 13790. Si sono, quindi, predisposte alcune routine di calcolo in *Matlab*® che richiedono la preparazione dei dati di input separatamente mediante opportuni fogli di calcolo, vedi Figura 17.

A questo scopo, non essendoci alcun programma commerciale che potesse adattarsi alla preparazione di questi dati di input, si è predisposto un foglio di calcolo in Excel che provvede a calcolare i calori delle conduttanze, della capacità termica C_m e i vettori di ingresso sopra specificati (I_1 , T_{sup} , T_e).

Il foglio di calcolo è suddiviso in due aree di calcolo, come visualizzato in Figura 19, per la prima area, e in Figura 20, per la seconda area.

Alcuni dati relativi al calcolo dei vettori di ingresso sono illustrati nel metodo di calcolo per evoluzione libera, vedi più avanti. In ogni caso nella seconda area del foglio di calcolo sono presenti i dati delle forzanti esterne (T_{sup} , T_e , I_{sol} , ...). Le temperature esterne e l'irraggiamento solare con passo orario sono desunte dal data base IGDG per Catania Fontanarossa.

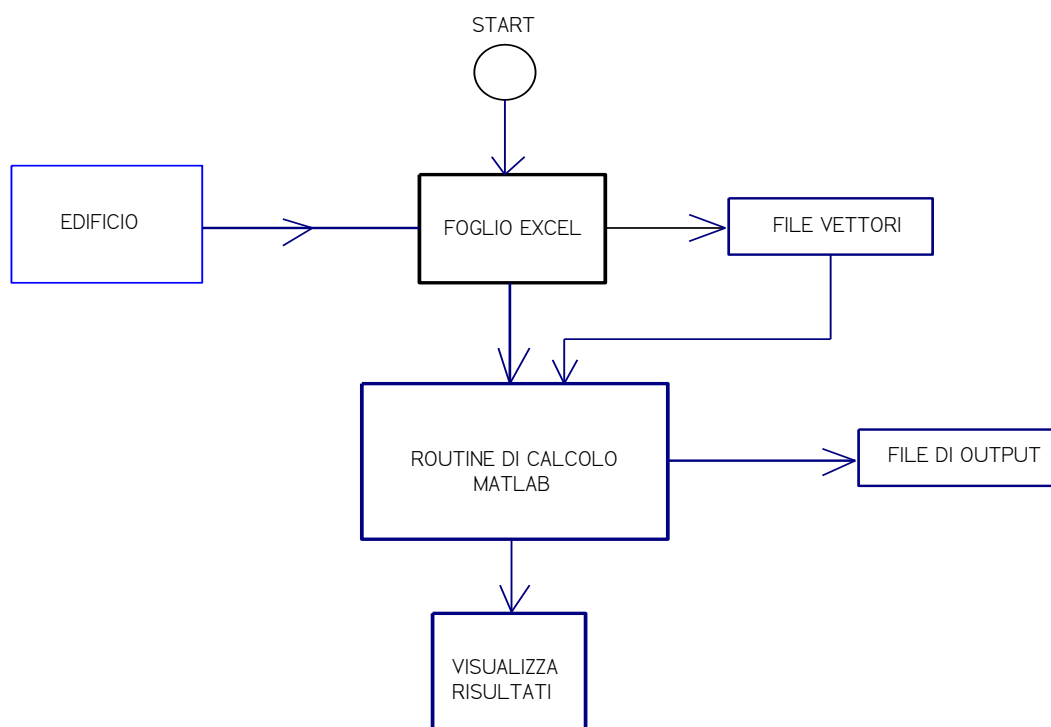


Figura 17: Organizzazione delle fasi di input e di calcolo

5.3.4 CALCOLO DELLE CONDUTTANZE E DELLA CAPACITÀ TERMICA

La prima parte del foglio, Figura 19, richiede nella finestra principale i dati dimensionali delle pareti e delle finestre, suddividendoli per esposizione.

Si richiedono anche i fattori b_{tr} , le trasmittanze U_j , il rapporto aU/h_e per il calcolo dell'area efficace per l'irraggiamento solare.

Per pareti verticali e orizzontali viene calcolato l'angolo di inclinazione β e il fattore di vista parete – cielo, f_{kc} , infine il valore di H_{tr} per ciascun elemento.

Il foglio di calcolo determina i valori di input delle conduttanze del modello *R5C1*, come indicato in Figura 18.

Come si vedrà più avanti, porre $G_1=H_{ve}=0$ equivale ad informare la routine di calcolo che questo dato non è costante ma che dovrà essere letto nell'ultima colonna del vettore di input, come visibile nella Figura 20.

G1=Hve	40,00
G2=Hw	48,92
G3=ht,em	173,87
G4=Ht,ms	1962,00
G5=Ht,is	1462,11
C	13.200.000
T	3600
Am	200,00
At	423,80

Figura 18: Conduttanze ed altri dati per il modello

Se, invece, il valore è diverso da zero allora la routine di calcolo ignora l'ultima colonna di input e considera il valore presente come costante.

[illegible]

Figura 19: Foglio di calcolo in Excel – Prima Parte per il calcolo delle conduttanze e la capacità termica

								P1	P2	P5	I1	Ft	G1
Ora	I-sky	F.int	F.sol	Te (°C)	Ta(°C)	Tvent (°C)	Imp-Avv	T-sup	Te (K)	Tair(K)	Fi.ia	Fint+Fsol	Hve
1	40,00	400	-301,67	18,5	26,00	18,50	0	291,7	291,7	0,0	200	98,33	40,00
2	40,00	400	-301,67	18,2	26,00	18,20	0	291,4	291,4	0,0	200	98,33	40,00
3	40,00	400	-301,67	17,8	26,00	17,80	0	291,0	291,0	0,0	200	98,33	40,00
4	40,00	400	-301,67	17,5	26,00	17,50	0	290,7	290,7	0,0	200	98,33	40,00
5	40,00	400	-300,34	18,0	26,00	18,00	0	291,2	291,2	0,0	200	99,66	40,00
6	40,00	400	1265,40	18,9	26,00	18,90	0	292,1	292,1	0,0	200	1665,40	40,00
7	40,00	400	2009,42	20,2	26,00	20,00	1	293,2	293,4	299,2	200	2409,42	40,00
8	40,00	400	2668,84	21,6	26,00	20,00	1	293,2	294,8	299,2	200	3068,84	80,00
9	40,00	400	3336,70	23,4	26,00	23,40	0	296,6	296,6	0,0	200	3736,70	80,00
10	40,00	400	3354,23	25,4	26,00	25,40	0	298,6	298,6	0,0	200	3754,23	80,00
11	40,00	400	3672,89	26,1	26,00	26,10	0	299,3	299,3	0,0	200	4072,89	80,00
12	40,00	400	3547,52	26,2	26,00	26,20	0	299,4	299,4	0,0	200	3947,52	80,00
13	40,00	400	3928,97	25,8	26,00	25,80	0	299,0	299,0	0,0	200	4328,97	80,00
14	40,00	400	4358,94	25,6	26,00	25,60	0	298,8	298,8	0,0	200	4758,94	80,00
15	40,00	400	4219,91	25,4	26,00	25,40	0	298,6	298,6	0,0	200	4619,91	80,00
16	40,00	400	3896,18	25,1	26,00	20,00	1	293,2	298,3	299,2	200	4296,18	80,00
17	40,00	400	3557,52	24,6	26,00	20,00	1	293,2	297,8	299,2	200	3957,52	80,00
18	40,00	400	2747,37	23,9	26,00	20,00	1	293,2	297,1	299,2	200	3147,37	80,00
19	40,00	400	-273,82	23,1	26,00	20,00	1	293,2	296,3	299,2	200	126,18	80,00
20	40,00	400	-300,34	22,2	26,00	20,00	1	293,2	295,4	299,2	200	99,66	80,00
21	40,00	400	-301,67	21,3	26,00	20,00	1	293,2	294,5	299,2	200	98,33	80,00
22	40,00	400	-301,67	20,2	26,00	20,20	0	293,4	293,4	0,0	200	98,33	40,00
23	40,00	400	-301,67	19,5	26,00	19,50	0	292,7	292,7	0,0	200	98,33	40,00
24	40,00	400	-301,67	19,0	26,00	19,00	0	292,2	292,2	0,0	200	98,33	40,00

Figura 20: Foglio di calcolo in Excel – Seconda Parte per il calcolo dei vettori di input al modello

5.3.5 CALCOLO DEI VETTORI DI INPUT AL MODELLO

Il calcolo dei vettori di input al modello è predisposto con la seconda parte del foglio Excel, vedi Figura 20. I dati di input sono raggruppati in una zona segnata in giallo, come indicato in Figura 21. I dati numerici (senza le intestazioni) debbono essere copiati in un editor di testo nel quale si sostituisca la virgola (separatore standard di Excel) con il punto decimale (riconosciuto da *Matlab*®) e conservati in un file di testo con un nome mnemonico a scelta.

Questo file sarà poi indicato nella finestra di selezione della routine *Matlab*®, come si vedrà più avanti.

Si osserva che i primi dati di input, cioè le conduttanze e la capacità termica, rimangono costanti per l'edificio qualunque sia il mese di elaborazione.

I vettori di ingresso, invece, variano con il mese di elaborazione scelto e allora il foglio Excel legge i dati orari per la temperatura esterna e per la radiazione solare per il mese considerato in altre tabelle, come indicato in Tabella 4 per la temperatura e in Tabella 5 per la radiazione solare media sul piano orizzontale.

Per calcolare il flusso solare nelle pareti e nelle finestre occorre calcolare il fattore R_{bk} (rapporto fra il flusso nella superficie considerata rispetto al il flusso orizzontale):

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega'_s + \frac{\pi}{180} \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \varphi \sin \delta}$$

con φ latitudine, δ declinazione solare, β inclinazione della superficie, ω angolo azimutale. Tale valore è calcolato per Catania per i vari orientamenti. I dati sono riportati in Tabella 6. Il foglio di calcolo dei vettori legge automaticamente per ciascun orientamento questi fattori per il calcolo del flusso solare, F_{sol} , necessario per calcolare i vettori $I_1(F_{ia})$ e F_t , ($F_{sol} + F_{int}$).

P1	P2	P5	I1	Ft	G1
T-sup	Te (K)	Tair(K)	Fl.ia	Fint+Fsol	Hve
291,7	291,7	0,0	200	98,33	40,00
291,4	291,4	0,0	200	98,33	40,00
291,0	291,0	0,0	200	98,33	40,00
290,7	290,7	0,0	200	98,33	40,00
291,2	291,2	0,0	200	99,66	40,00
292,1	292,1	0,0	200	1665,40	40,00
293,2	293,4	299,2	200	2409,42	40,00
293,2	294,8	299,2	200	3068,84	80,00
296,6	296,6	0,0	200	3736,70	80,00
298,6	298,6	0,0	200	3754,23	80,00
299,3	299,3	0,0	200	4072,89	80,00
299,4	299,4	0,0	200	3947,52	80,00
299,0	299,0	0,0	200	4328,97	80,00
298,8	298,8	0,0	200	4758,94	80,00
298,6	298,6	0,0	200	4619,91	80,00
293,2	298,3	299,2	200	4296,18	80,00
293,2	297,8	299,2	200	3957,52	80,00
293,2	297,1	299,2	200	3147,37	80,00
293,2	296,3	299,2	200	126,18	80,00
293,2	295,4	299,2	200	99,66	80,00
293,2	294,5	299,2	200	98,33	80,00
293,4	293,4	0,0	200	98,33	40,00
292,7	292,7	0,0	200	98,33	40,00
292,2	292,2	0,0	200	98,33	40,00

Figura 21: Zona contenente i vettori di input per il modello

Temperature medio giornaliere mensili a Catania												
Time	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	7,90	8,50	9,20	11,10	14,80	18,50	21,30	22,70	20,40	15,70	12,60	9,30
1:01- 2:00	7,60	8,10	8,60	10,50	14,30	18,20	20,70	22,00	19,80	15,10	12,30	9,00
2:01- 3:00	7,30	7,70	7,90	10,00	13,90	17,80	20,00	21,40	19,30	14,60	12,00	8,70
3:01- 4:00	7,10	7,40	7,30	9,50	13,50	17,50	19,40	20,80	18,80	14,10	11,90	8,50
4:01- 5:00	7,00	7,10	7,00	9,50	13,70	18,00	19,80	20,70	18,60	13,70	11,80	8,30
5:01- 6:00	6,90	6,80	6,90	9,80	14,20	18,90	20,80	20,80	18,70	13,40	11,70	8,00
6:01- 7:00	7,00	6,50	6,80	10,30	15,00	20,20	22,20	21,20	19,10	13,20	11,70	7,70
7:01- 8:00	7,70	7,50	8,40	11,90	16,50	21,60	23,90	23,00	20,70	14,90	12,80	8,70
8:01- 9:00	8,90	9,10	10,70	14,30	18,50	23,40	26,10	25,70	23,10	17,70	14,40	10,40
9:01-10:00	10,40	11,30	13,90	17,30	21,10	25,40	28,60	29,10	26,30	21,50	16,70	12,60
10:01-11:00	11,60	12,60	15,40	18,40	21,90	26,10	29,60	30,10	27,40	22,90	18,00	14,10
11:01-12:00	12,70	13,80	16,40	18,90	22,00	26,20	29,90	30,20	27,90	23,60	19,20	15,40
12:01-13:00	13,90	14,80	17,00	18,80	21,50	25,80	29,60	29,50	27,70	23,70	20,30	16,60
13:01-14:00	14,30	15,00	17,20	18,70	21,40	25,60	29,50	29,50	27,70	23,70	20,40	16,90
14:01-15:00	14,20	14,70	17,00	18,40	21,20	25,40	29,20	29,30	27,40	23,20	19,90	16,60
15:01-16:00	13,80	14,00	16,50	17,90	21,00	25,10	28,80	29,00	26,90	22,40	18,90	15,90
16:01-17:00	13,00	13,20	15,80	17,10	20,50	24,60	28,20	28,50	26,20	21,50	18,00	15,00
17:01-18:00	11,90	12,20	14,80	16,10	19,80	23,90	27,50	27,80	25,40	20,40	16,70	13,80
18:01-19:00	10,30	11,00	13,50	14,90	18,90	23,10	26,60	26,90	24,40	19,10	15,20	12,30
19:01-20:00	9,60	10,40	12,70	14,20	18,10	22,20	25,70	26,20	23,60	18,30	14,40	11,50
20:01-21:00	9,10	10,00	12,10	13,50	17,30	21,30	24,60	25,30	23,00	17,80	14,00	11,00
21:01-22:00	8,80	9,70	11,60	13,10	16,50	20,20	23,40	24,50	22,40	17,40	13,70	10,70
22:01-23:00	8,30	9,30	10,90	12,50	15,80	19,50	22,50	23,80	21,70	16,80	13,30	10,20
23:01-24:00	7,90	8,90	10,10	11,80	15,30	19,00	21,90	23,20	21,10	16,20	12,80	9,70

Tabella 4: Dati orari per la temperatura esterna a Catania

Irraggiamento medio giornaliero mensile a Catania												
Hourly Statistics for Global Horizontal Solar Radiation Wh/m ²												
Time	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:01- 2:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2:01- 3:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3:01- 4:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4:01- 5:00	-	-	-	-	-	2,00	-	-	-	-	-	-
5:01- 6:00	-	-	-	9,00	37,00	52,00	34,00	13,00	1,00	-	-	-
6:01- 7:00	-	1,00	21,00	80,00	131,00	153,00	130,00	92,00	50,00	18,00	2,00	-
7:01- 8:00	18,00	41,00	105,00	193,00	266,00	297,00	275,00	221,00	157,00	97,00	51,00	20,00
8:01- 9:00	87,00	126,00	216,00	335,00	433,00	471,00	459,00	391,00	301,00	205,00	135,00	85,00
9:01-10:00	164,00	222,00	338,00	484,00	604,00	649,00	653,00	573,00	456,00	322,00	222,00	154,00
10:01-11:00	231,00	311,00	445,00	608,00	740,00	793,00	815,00	727,00	584,00	416,00	292,00	211,00
11:01-12:00	273,00	367,00	509,00	674,00	807,00	867,00	904,00	811,00	648,00	457,00	323,00	240,00
12:01-13:00	274,00	373,00	510,00	662,00	787,00	852,00	895,00	802,00	627,00	432,00	304,00	234,00
13:01-14:00	237,00	326,00	448,00	577,00	685,00	752,00	791,00	701,00	529,00	349,00	244,00	194,00
14:01-15:00	174,00	245,00	343,00	444,00	529,00	593,00	621,00	539,00	385,00	237,00	162,00	134,00
15:01-16:00	102,00	153,00	225,00	298,00	359,00	415,00	428,00	359,00	235,00	128,00	81,00	69,00
16:01-17:00	33,00	70,00	119,00	168,00	208,00	252,00	252,00	200,00	112,00	45,00	16,00	12,00
17:01-18:00	-	10,00	36,00	69,00	95,00	126,00	119,00	84,00	30,00	3,00	-	-
18:01-19:00	-	-	-	8,00	23,00	42,00	36,00	16,00	1,00	-	-	-
19:01-20:00	-	-	-	-	-	2,00	1,00	-	-	-	-	-
20:01-21:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:01-22:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:01-23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:01-24:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 5: Dati per l'irraggiamento orario medio per i vari mesi a Catania

Fattori R _b per inclinazione e orientamenti pareti									
Ora	R _b .Oriz	R _b .E	R _b .W	R _b .N	R _b .S	R _b .NE	R _b .NW	R _b .SE	R _b .SW
1	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5246	0,0000	3,2951	0,5246
6	1,0000	4,5165	0,3516	1,2527	0,3516	4,1538	0,3516	4,2637	0,6703
7	1,0000	2,3456	0,2243	0,3750	0,2390	1,9044	0,2243	1,8015	0,3051
8	1,0000	1,4837	0,1808	0,1983	0,1983	1,0523	0,1808	1,1285	0,2157
9	1,0000	0,9919	0,1605	0,1686	0,2366	0,5770	0,1605	0,7747	0,1848
10	1,0000	0,6270	0,0149	0,1500	0,3027	0,2662	0,0149	0,5041	0,1757
11	1,0000	0,3166	0,1460	0,1460	0,3485	0,1558	0,1460	0,2822	0,2822
12	1,0000	0,1578	0,1578	0,1458	0,3687	0,1442	0,1442	0,1549	0,4446
13	1,0000	0,1460	0,3166	0,1362	0,3485	0,1460	0,1571	0,1399	0,5865
14	1,0000	0,1500	0,6270	0,1405	0,3027	0,1500	0,2662	0,1338	0,7000
15	1,0000	0,1605	0,9919	0,1475	0,2366	0,1605	0,5770	0,1345	0,7942
16	1,0000	0,1808	1,4837	0,2222	0,1983	0,1808	1,0523	0,1329	0,8453
17	1,0000	0,2243	2,3456	0,4191	0,2390	0,2243	1,9044	0,1176	0,7390
18	1,0000	0,3516	4,5165	0,0000	0,3516	0,3516	4,1538	0,0000	0,0000
19	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
21	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabella 6: Fattori R_{bk} per il calcolo del flusso solare nelle pareti per Catania

5.3.6 CASO ESEMPIO PER IL MESE DI LUGLIO IN EVOLUZIONE LIBERA

Si consideri un edificio³⁷ con quattro ambienti, Figura 29, formato da quattro ambienti identici in dimensioni (5 x 5 x 3 m) e i cui dati termofisici sono dati nella Figura 30, Figura 31, Figura 32 e Figura 33. In Tabella 7 si ha il riepilogo del foglio Excel per la preparazione dei dati di input.

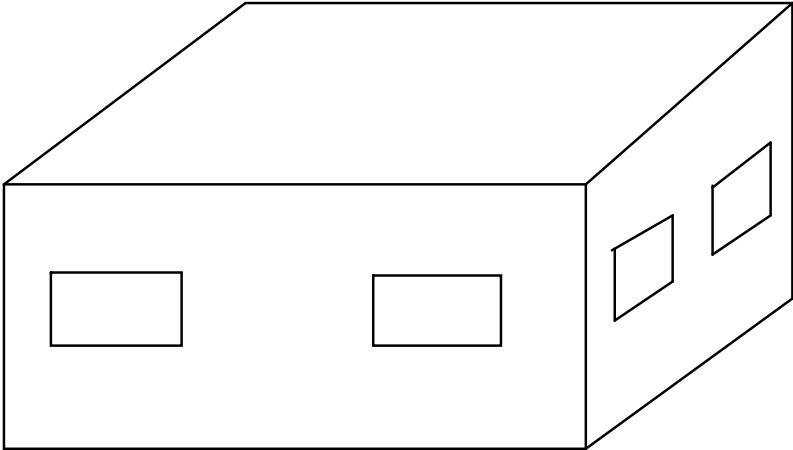


Figura 29: Edificio con quattro ambienti

ns	coMat	descrizione strati	s	l	R	ts	Ps	Perm.	Rv	Pv
	LIN 1	Strato limitare della superficie verticale interna UNI 6946			0.130	19.54	2.273			1.027
1	INT 7	Intonaco di calce e gesso	0,01	0,7	0.014	19.48	2.265	18	0.556	1.024
2	MUR 22	Laterizi in mattoni forati da 8 cm, foratura orizzontale, 63% (da UNI 10355)	0,08		0.200	18.77	2.166	38	2.105	1.012
3	INA 16	Intercapedine d'aria non ventilata sp. 100 mm , superfici opache, flusso di calore	0,1		0.180	18.13	2.081	193	0.518	1.009
4	ISO 29	Pannelli in in fibra di legno d'abete mineralizzata legato con cemento	0,08	0,06	1.333	13.36	1.534	8	10.000	0.952
5	MUR 19	Blocchi di grande formato tipo POROTON in laterizio alleggerito per murature	0,15	0,27	0.556	11.38	1.346	21	7.143	0.912
6	MUR 39	Mattoni pieni per faccia a vista spessore 12 cm (da UNI 10335)	0,04		0.150	10.84	1.299	21	1.905	0.901
	LIN 2	Strato limitare della superficie verticale esterna (vento < 4 m/s) UNI 6946			0.040	10.70	1.287			0.901

Figura 30: Calcolo della trasmittanza delle pareti

³⁷ Inizialmente si sono considerati edifici molto semplici per poter effettuare anche un controllo manuale dei vari passi di calcolo. Nei successivi capitoli si prenderanno in considerazione edifici complessi realmente costruiti.

STRUTTURA		Copertura a terrazzo isolato in perlite e vermiculite, finitura in gomma									
SOF 613											
ns	coMat	descrizione strati	s	l	R	ts	Ps	Perm.	Rv	Pv	
	LIM 4	Strato liminare della superficie orizzontale interna, calore ascendente UNI 6946			0.100	19.71	2.298			1.027	
1	INT 7	Intonaco di calce e gesso	0,015	0,7	0.021	19.65	2.289	18	0.833	1.027	
2	SOL 5	Soletta mista da 20 cm. in laterizio +6, nervature in cemento armato; 1150 (da	0,26		0.350	18.65	2.151	31,25	8.320	1.026	
3	CLS 3	Calcestruzzo di sabbia e ghiaia 2200 per pareti interne o esterne protette	0,04	1,48	0.027	18.58	2.141	2,6	15.385	1.023	
4	IMP 7	Polietilene (PE) in fogli	0,001	0,35	0.003	18.57	2.140	0,003	333.333	0.973	
5	ISO 14	Polistirene espanso in lastre stampate per termocompressione da 30 Kg/mc	0,1	0,038	2.632	11.05	1.317	2,5	40.000	0.967	
6	ZZZ 6	Malta cementizia magra di sottofondo	0,05	1,4	0.036	10.95	1.308	6,25	8.000	0.966	
s	[m]	0.520									
R	[m²K/W]	3.26	α	0.600	m	[kg/m³]					108
U calcolo	[W/m²K]	0.307	Fer	0.800	C	[kJ/m²K]					91
U corretto	[W/m²K]	0.307									

Figura 33: Calcolo della trasmittanza del soffitto

Si osservi che le trasmittanze calcolate hanno già un incremento del 5% del valore per tenere conto dei ponti termici e quindi nel foglio di calcolo non vi sono linee aggiuntive per i ponti termici.

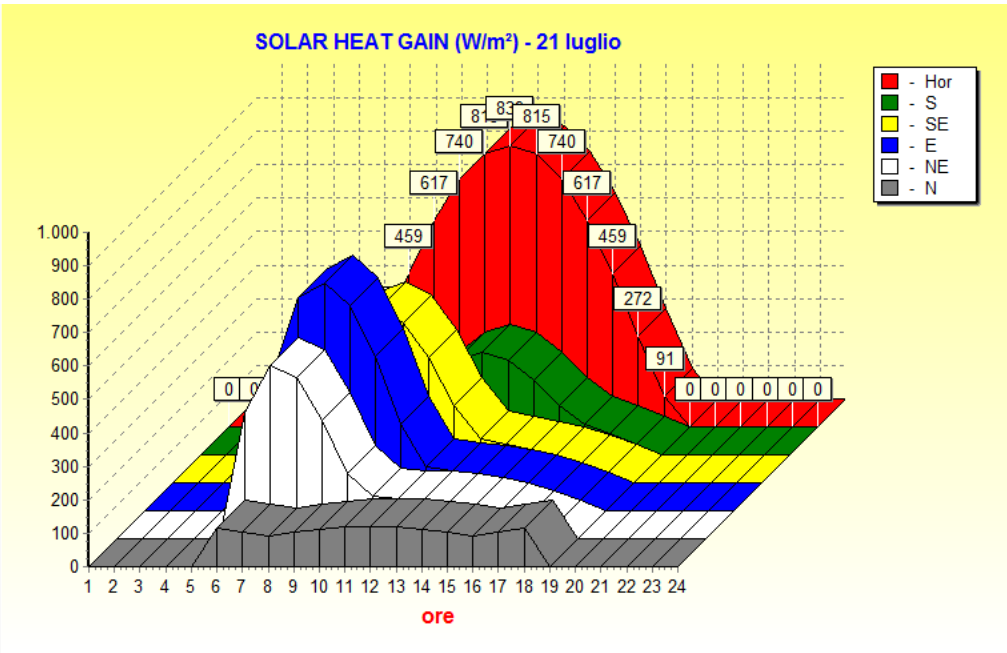


Figura 34: Solar heat gain a Catania per il 21 luglio

Parete	U	b.tr	S	aU/he	Aeff	Beta	fkc	H.tr
Nord	0,384	1	30,00	0,008	0,23	1,57	0,500	11,52
Finestra	3,02	1	0,00	0,800	0,00	1,57	0,500	0,00
Sud	0,384	1	24,60	0,008	0,19	1,57	0,500	9,45
Finestra	3,02	1	5,40	0,800	4,32	1,57	0,500	16,31
Est	0,384	1	24,60	0,008	0,19	1,57	0,500	9,45
Finestra	3,02	1	5,40	0,800	4,32	1,57	0,500	16,31
Ovest	0,384	1	24,60	0,008	0,19	1,57	0,500	9,45
Finestra	3,02	1	5,40	0,800	4,32	1,57	0,500	16,31
Nord Est	0,384	1	0,00	0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,800	0,00	1,57	0,500	0,00
Nord Ovest	0,384	1	0,00	0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,800	0,00	1,57	0,500	0,00
Sud Est	0,384	1	0,00	0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,800	0,00	1,57	0,500	0,00
Sud Ovest	0,384	1	0,00	0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,800	0,00	1,57	0,500	0,00
Pavimento	0,737	0	100,00	0,000	0,00	0	1,000	0,00
Soffitto	0,307	1	100,00	0,007	0,66	0	1,000	30,70
Pareti Int.	0,743	0	120,00		120,00	0	1,000	89,16

Tabella 7: Dati termofisici di un edificio a 4 ambienti

G1=Hve	40,00
G2=Hw	48,92
G3=ht,em	173,87
G4=Ht,ms	1962,00
G5=Ht,is	1462,11
C	13.200.000
T	3600
Am	200,00
At	423,80

Tabella 8: Conduttanze ed altri dati

P1	P2	P5	I1	Ft
T-sup	Te (K)	Tair(K)	Fi.ia	Fint+Fsol
291,7	291,7	0,0	200	98,33
291,4	291,4	0,0	200	98,33
291,0	291,0	0,0	200	98,33
290,7	290,7	0,0	200	98,33
291,2	291,2	0,0	200	99,66
292,1	292,1	0,0	200	1665,40
293,4	293,4	0,0	200	2409,42
294,8	294,8	0,0	200	3068,84
296,6	296,6	0,0	200	3736,70
298,6	298,6	0,0	200	3754,23
299,3	299,3	0,0	200	4072,89
299,4	299,4	0,0	200	3947,52
299,0	299,0	0,0	200	4328,97
298,8	298,8	0,0	200	4758,94
298,6	298,6	0,0	200	4619,91
298,3	298,3	0,0	200	4296,18
297,8	297,8	0,0	200	3957,52
297,1	297,1	0,0	200	3147,37
296,3	296,3	0,0	200	126,18
295,4	295,4	0,0	200	99,66
294,5	294,5	0,0	200	98,33
293,4	293,4	0,0	200	98,33
292,7	292,7	0,0	200	98,33
292,2	292,2	0,0	200	98,33

Tabella 9: Vettori di input per l'edificio in esame per il mese di giugno

Le conduttanze richieste dal modello sono indicate in Tabella 8. I vettori dei dati di ingresso, supposta la località Catania per il mese di Giugno, sono riportati in Tabella 9.

In essa si è indicato, nella colonna *Imp.Avv.*, con **0** quando l'impianto è spento (*evoluzione libera*) e con **1** quando l'impianto è acceso (temperatura dell'aria interna termostata e quindi *evoluzione forzata*).

Quest'informazione si traduce fittiziamente nell'imporre pari a **0 K** la temperatura interna, P_5 , (che è un dato di ingresso per il modello forzato) in modo che il programma riconosca la condizione di evoluzione libera ed elabori conseguentemente il metodo di calcolo.

I risultati sono riportati in Figura 35, per i dati di input, e in Figura 36, per i dati calcolati.

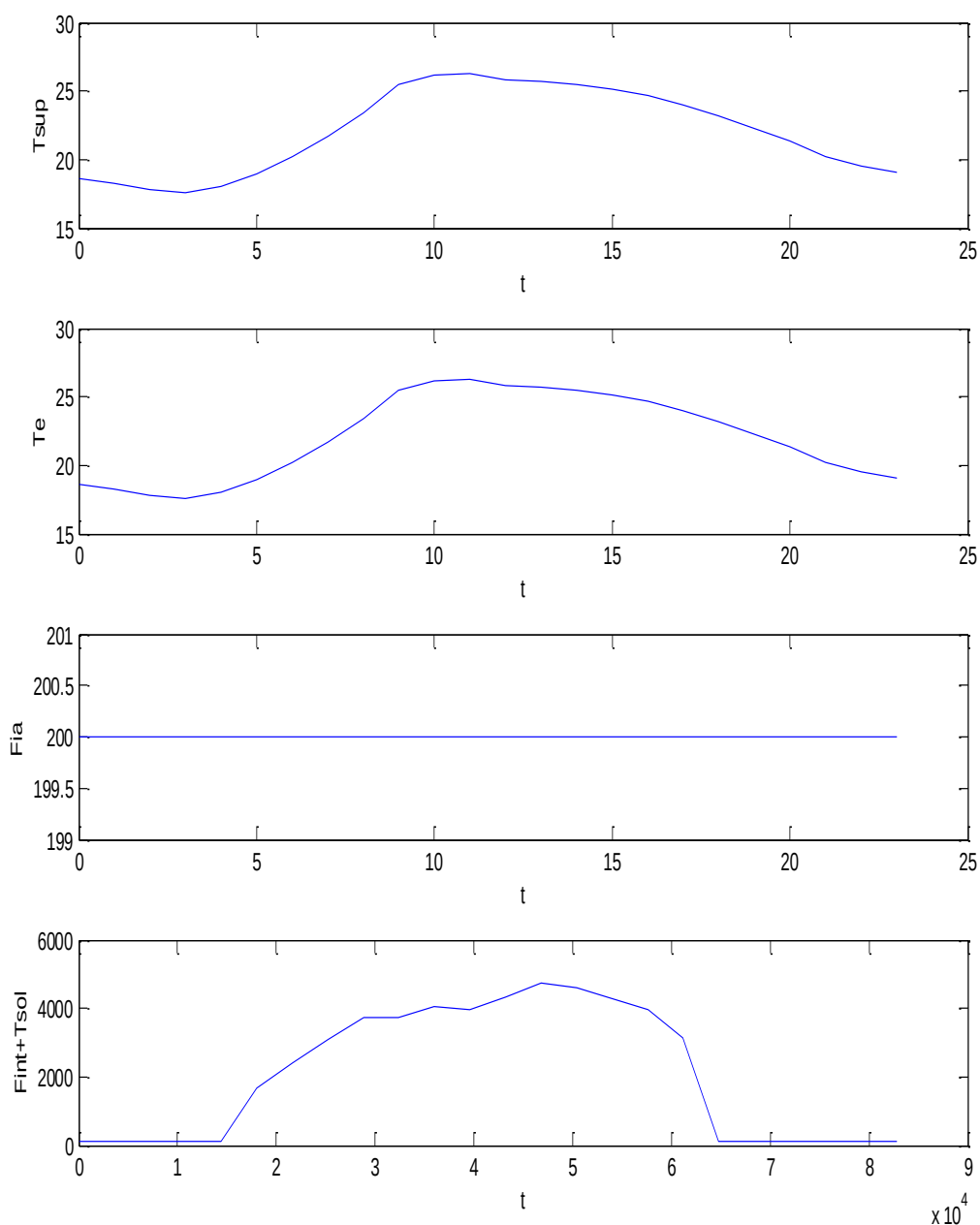


Figura 35: Vettori di input per una simulazione a Luglio per un edificio con 4 ambienti

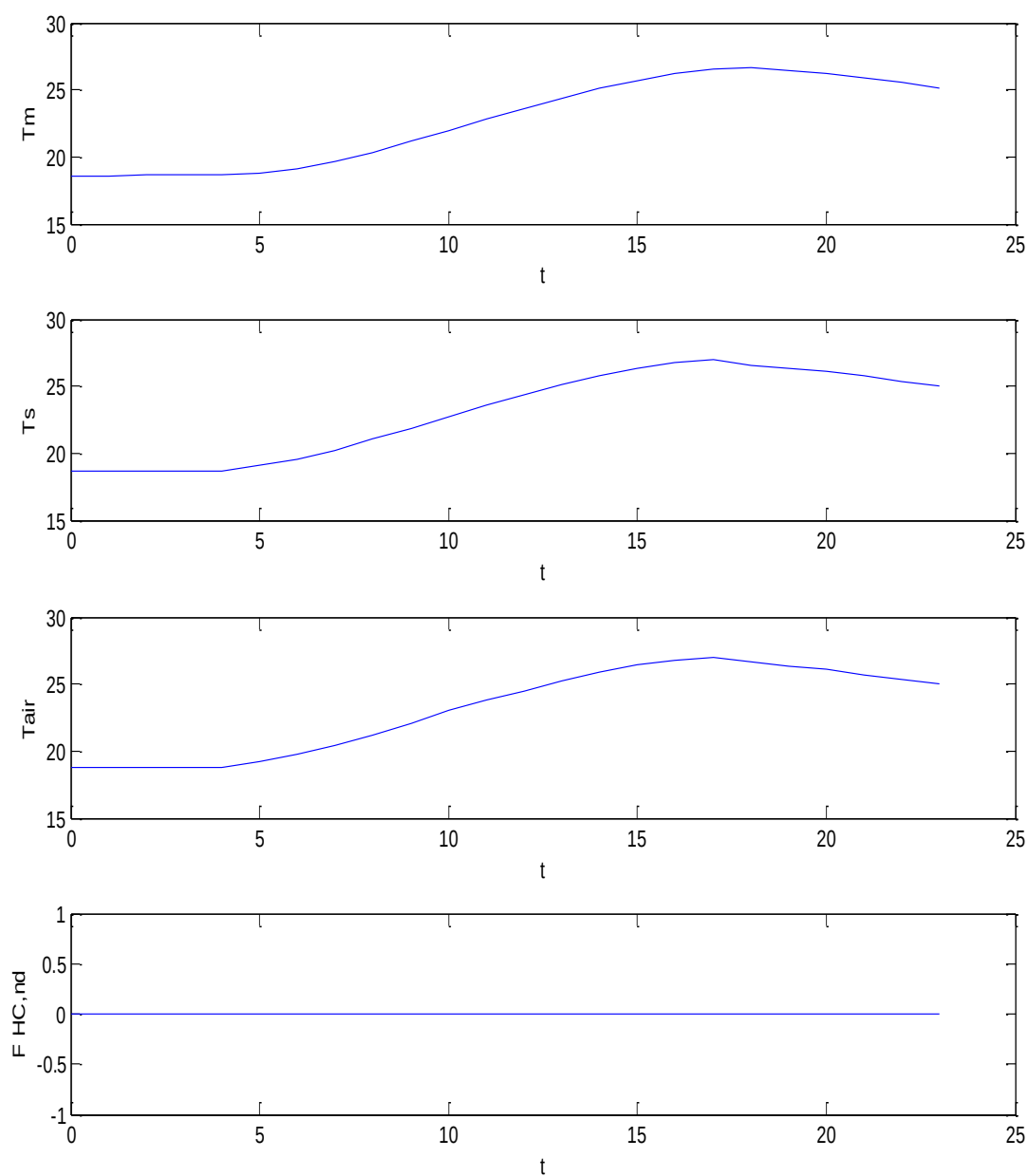


Figura 36; Dati calcolati per l'edificio con 4 ambienti a Giugno- Evoluzione libera

Si osserva subito la variabilità della temperatura dell'aria interna, T_{air} , nel terzo riquadro della Figura 36 dovuta al transitorio termico dell'edificio considerato in assenza di interventi dell'impianto di climatizzazione. In pratica è quello che avviene quando gli impianti sono spenti e la temperatura varia solo per effetto dei bilanci energetici dell'edificio.

La conduttanza di accoppiamento $H_{tr, ms}$, è posta pari a $9,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, come indicato dalla UNI EN 13790.

Nessuna giustificazione è data nella UNI EN 13790 sulla scelta del valore proposto e non è stato possibile reperire altri dati in letteratura.

Lo studio riportato in [2] segnala la stessa conclusione per tutti i coefficienti indicati sia per h_{ms} che per h_{is} proponendo un modello ridotto diversamente strutturato rispetto al modello *R5C1* della UNI EN 13790, come riportato in Figura 37.

In esso non si hanno le trasmittanze di accoppiamento e i flussi dovuti alle sorgenti interne e alla radiazione solare sono dati in modo esplicito. Compaiono due capacità termiche, C_w e C_i , dovute alle pareti vetrate e alle pareti interne.

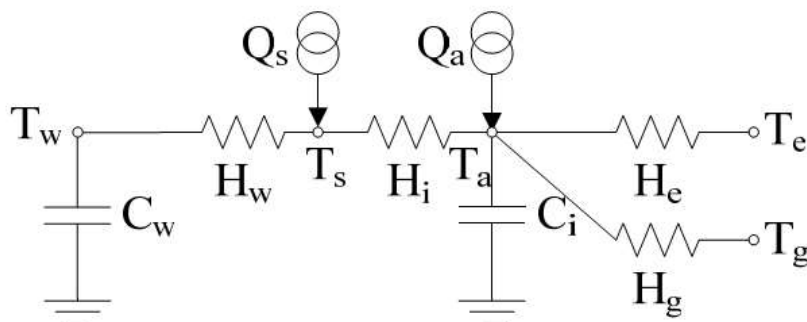


Figura 37: Modello proposto da Nielsen e Svendsen

In questo modello si ha:

- T_e temperatura esterna, K
- T_g temperatura del terreno, K
- T_a temperatura dell'aria interna, K
- T_s temperatura della superficie interna, K
- T_w temperatura della massa interna, K
- T_o temperatura operativa, K
- C_i capacità termica interna, J/(kgK)
- C_w capacità termica efficace delle costruzioni, J/(kgK)
- H_w conduttanza verso la superficie interna, W/K
- H_i conduttanza fra le superfici interne e l'aria, W/K
- H_e conduttanza verso l'aria esterna, W/K
- H_g conduttanza del terreno, W/K
- Q_a flusso di energia assorbita nell'aria interna, W
- Q_s flusso di energia assorbito dalla superficie interna delle pareti, W

I modelli semplificati di *Bo Adamson* e *SBI* riducono questi effetti di accoppiamento riducendo ad una la trasmittanza di accoppiamento (*R4C1*) o addirittura trascurandola (*R3C1*).

Con riferimento alla Figura 7 si osserva che gli scambi radiativi fra pareti interne e l'aria e fra sorgenti interne (persone, lampade, apparecchiature, ...) dipendono da numerosi fattori quali le caratteristiche radiative delle superfici interne delle pareti, dal colore, e in genere dalle proprietà radiative delle pareti interne, e dalla massa.

Tutti questi fattori sono del tutto mascherati nei valori suggeriti apoditticamente dalla norma UNI EN 13790.

Fra l'altro, considerata l'origine danese del propositore del modello *R5C1*, vanno tenute in considerazione anche i valori degli irraggiamenti solari e delle temperature in gioco in Italia.

5.3.7 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLA CAPACITÀ TERMICA – GRADINO DI TEMPERATURA ESTERNA

Si vuole qui analizzare l'effetto della capacità termica dell'edificio nell'evoluzione del transitorio termico libero. Si supponga di avere sempre lo stesso edificio a quattro ambienti del caso precedente e che questo sia sottoposto al solo gradino di temperatura (da 10 a 30 °C), come mostrato nelle figure seguenti.

In un primo momento la capacità termica è quella calcolata pari a 13.200.000 J/K.

Si hanno i seguenti dati di input per le conduttanze e per i vettori.

H.altezza	3		G1=Hve	40,00
Htot	119,48		G2=Hw	48,92
Hw	48,92		G3=ht,em	173,87
Hpar	70,56		G4=Ht,ms	1962,00
Htr.op	159,72		G5=Ht,is	1462,11
Sw	16,20		C	13.200.000
Af	80,00		T	3600
At	423,80		Am	200,00
Ask	7,54		At	423,80
Hve	40			
Am	200	2,5* Af		

Tabella 10: Dati di input delle conduttanze per edificio con 4 ambienti

					P1	P2	P5	I1	Ft
F.sol	Te (°C)	Ta(°C)	Tvent (°C)	Imp-Avv	T-sup	Te (K)	Tair(K)	Fi.ia	Fint+Fsol
0,00	10,0	26,00	10,00	0	283,2	283,2	0,0	200	400,00
0,00	10,0	26,00	10,00	0	283,2	283,2	0,0	200	400,00
0,00	10,0	26,00	10,00	0	283,2	283,2	0,0	200	400,00
0,00	10,0	26,00	10,00	0	283,2	283,2	0,0	200	400,00
0,00	10,0	26,00	10,00	0	283,2	283,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	30,0	26,00	30,00	0	303,2	303,2	0,0	200	400,00
0,00	10,0	26,00	10,00	0	283,2	283,2	0,0	200	400,00
0,00	10,0	26,00	10,00	0	283,2	283,2	0,0	200	400,00
0,00	10,0	26,00	10,00	0	283,2	283,2	0,0	200	400,00
0,00	10,0	26,00	10,00	0	283,2	283,2	0,0	200	400,00

Tabella 11: Temperatura esterna e vettori di input per l'edificio a quattro ambienti

I risultati di calcolo sono raffigurati in Figura 38 per i vettori di input per sette giorni consecutivi e in Figura 39 per i vettori calcolati. In Figura 40 si ha un particolare per la sola T_{air} con l'indicazione dei valori minimi e massimi raggiunti pari a 17 e 26 °C. Si ripeta adesso il calcolo, a parità di condizioni di calcolo, ma con $C_m = 26.400.000$ J/K, cioè una capacità doppia rispetto al valore precedente, come illustrato in Figura 41.

I vettori di calcolo sono dati di Figura 42.

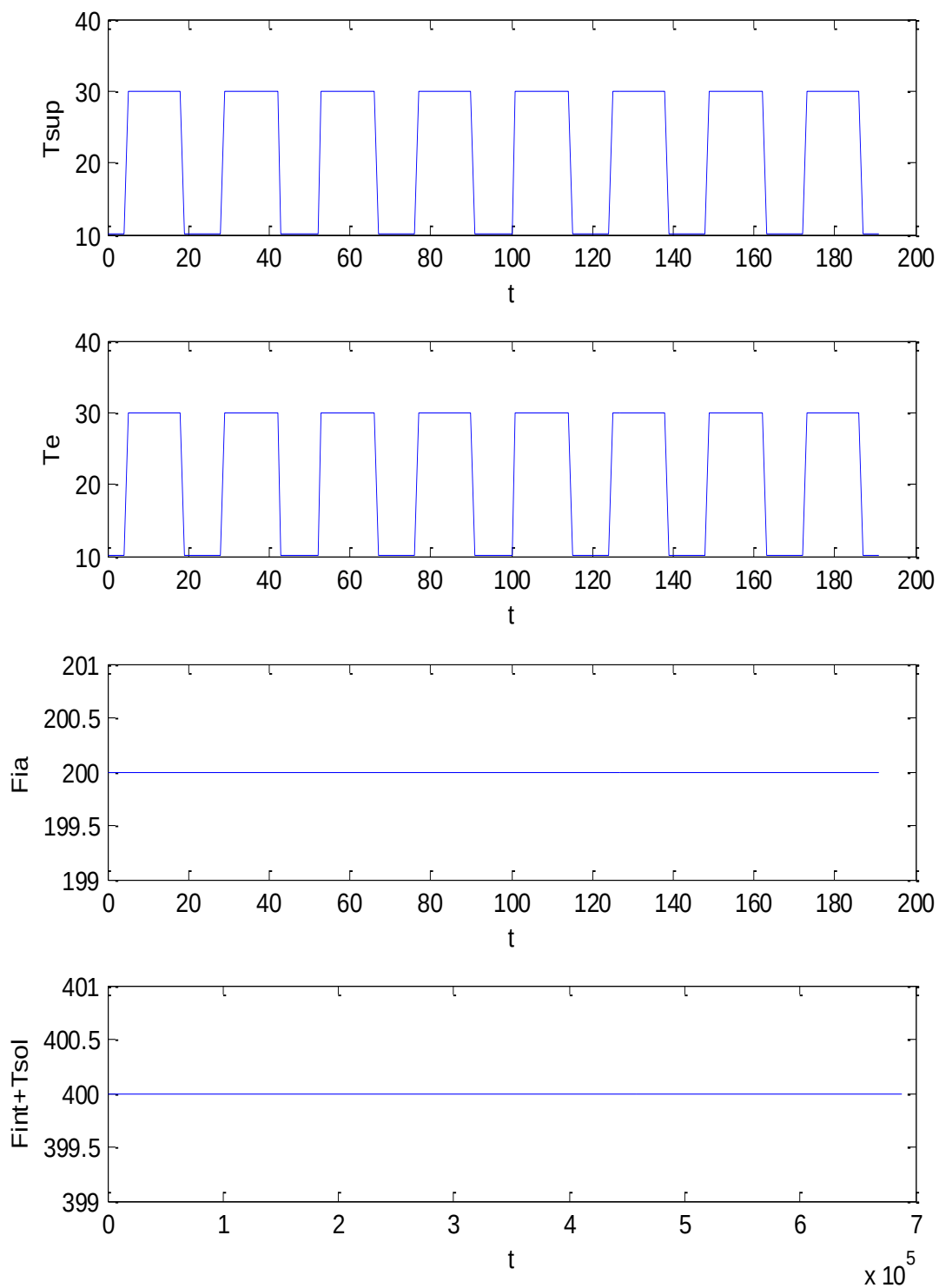


Figura 38: Vettori di input del modello per edificio a 4 ambienti per 7 giorni

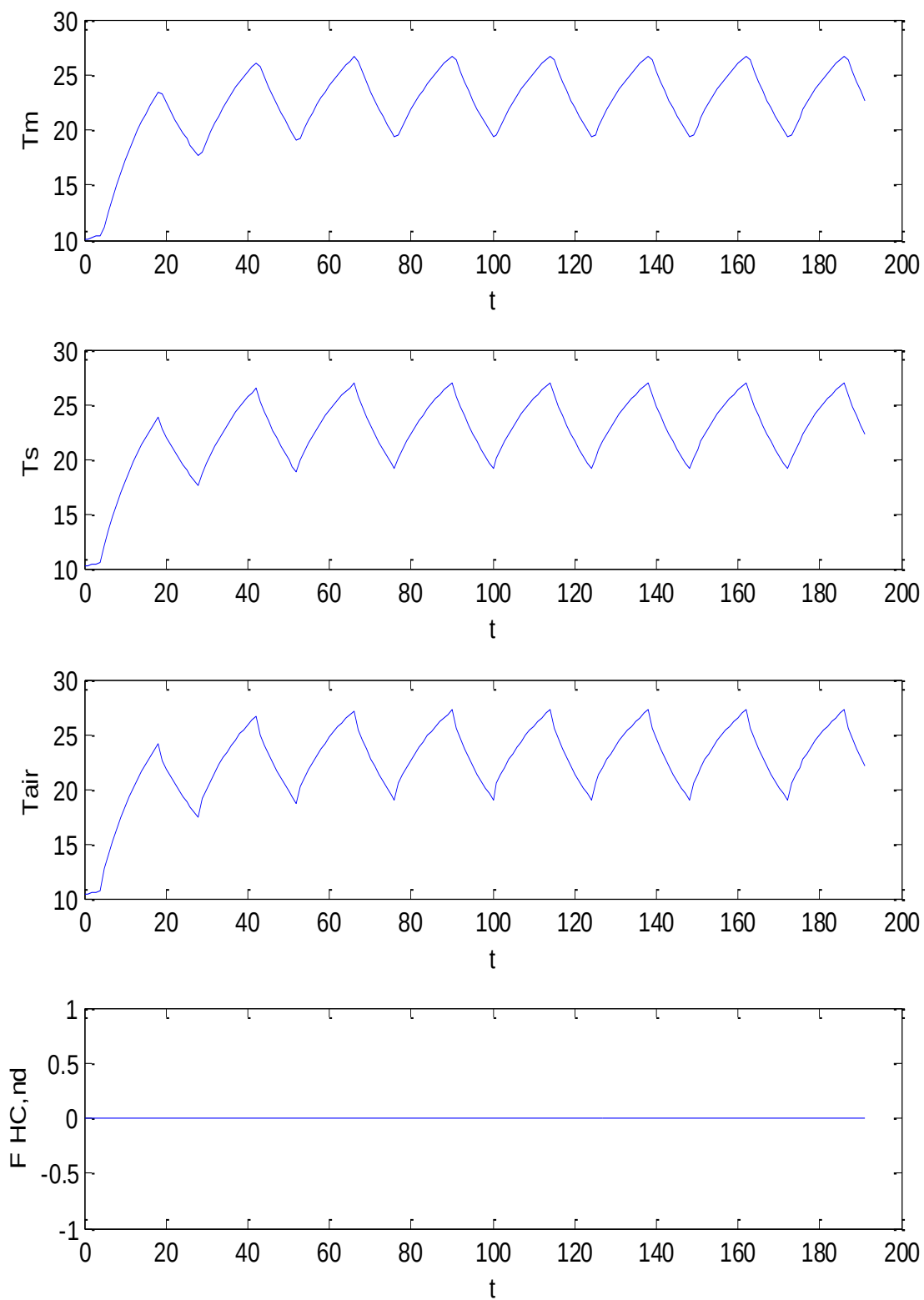


Figura 39: Risultati di calcolo per edificio a 4 ambienti per 7 giorni con gradino di temperatura

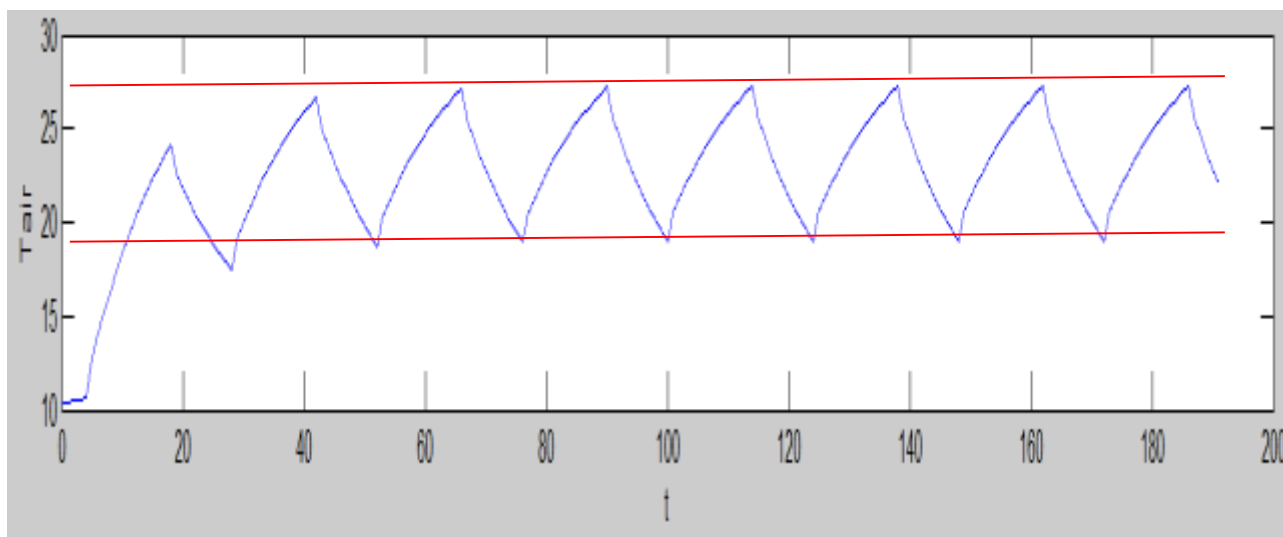


Figura 40: Transitorio termico per 7 giorni – particolare della T_{air}

In Figura 43 si ha il particolare per T_{air} nelle condizioni di capacità termica doppia.

Si può osservare come, a regime, la variazione di temperatura interna passa da 19.5 a 25 °C, inferiore al caso precedente, come era da aspettarsi.

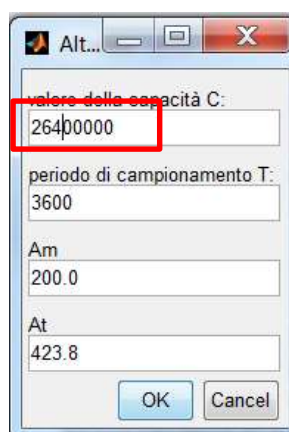


Figura 41: Assegnazione della nuova capacità termica

Si osservi come l'aver calcolato il transitorio per sette giorni sia servito a stabilizzare la risposta del sistema. Questa, infatti, risente delle condizioni iniziali che, nel calcolo per più giorni consecutivi, si annullano dopo due o tre giorni di calcolo.

L'andamento delle curve (di tipo sostanzialmente esponenziale) non mostra il raggiungimento di condizioni asintotiche che la crescita o per la decrescita della temperatura.

Ciò significa che la costante di tempo dell'edificio è superiore all'ampiezza del gradino. Infatti se si prolunga la durata del gradino della temperatura esterna si hanno i vettori di input di Figura 44, i vettori di calcolo di Figura 45.

In Figura 46 si ha il particolare dell'andamento del transitorio termico della temperatura interna con l'indicazione del valore asintotico e della costante di tempo che risulta pari a circa 18 ore.

Si osservi che il modello considerato è di tipo RC ma la rete termica di Figura 6 contiene anche conduttanze di accoppiamento per gli effetti radiativi interni che il classico transitorio RC non prende in considerazione.

In aggiunta il fronte del gradino non è perfettamente verticale (condizione teorica) ma si ha una variazione in un'ora (che è il passo di calcolo).

In pratica si ha più un andamento a rampa che a gradino.

Tutto ciò spiega l'andamento più curvo della temperatura nella fase iniziale del transitorio.

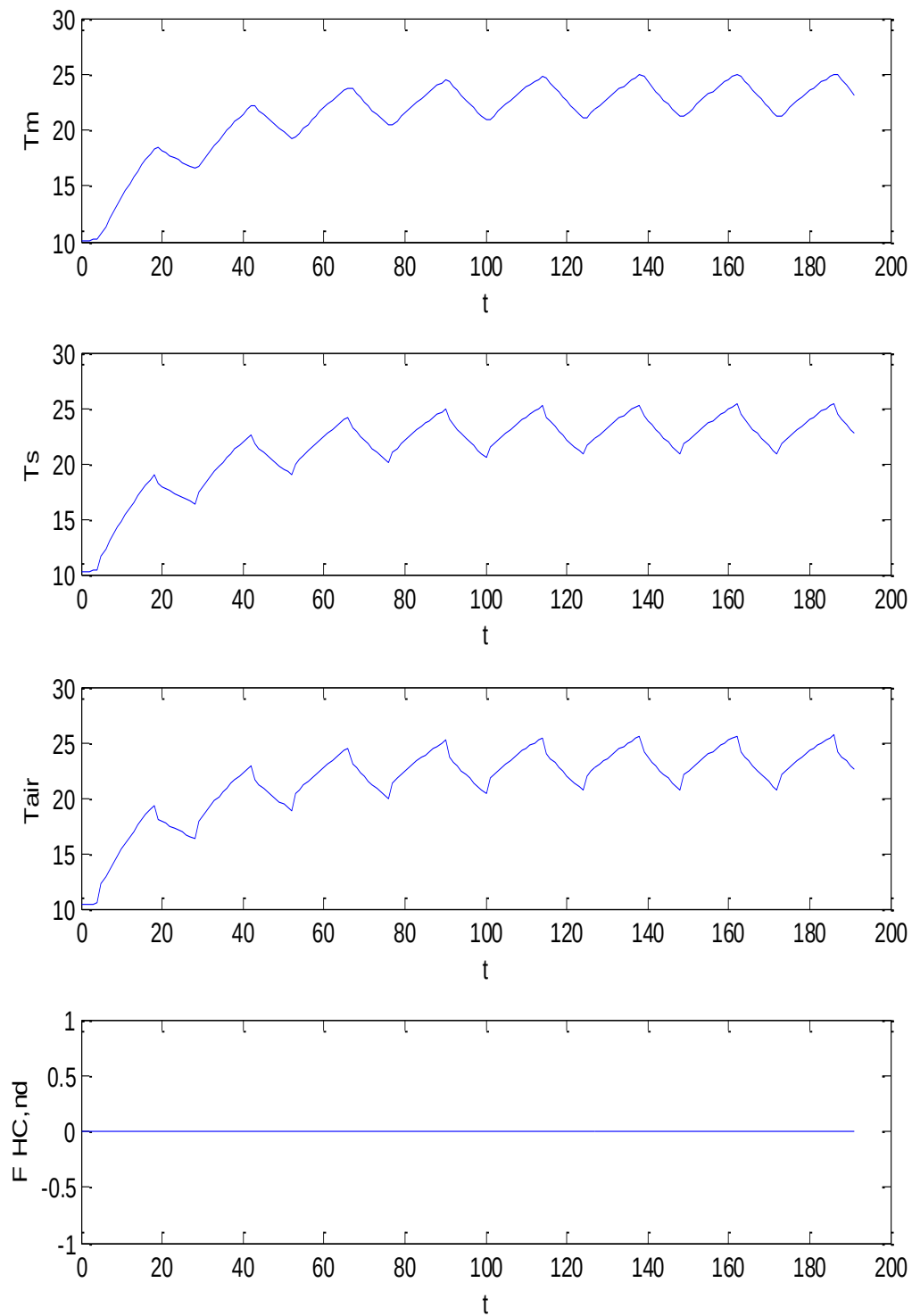


Figura 42: Valori calcolati per edifici con 4 ambienti per 7 giorni e con $C=2\text{ Cm}$

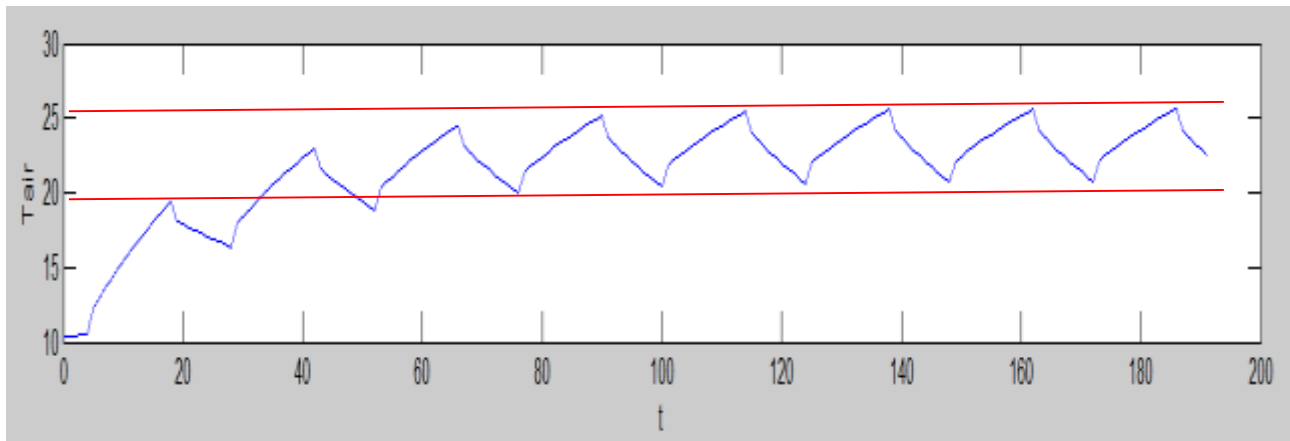


Figura 43: Transitorio termico per 7 giorni con 2C – particolare di T_{air}

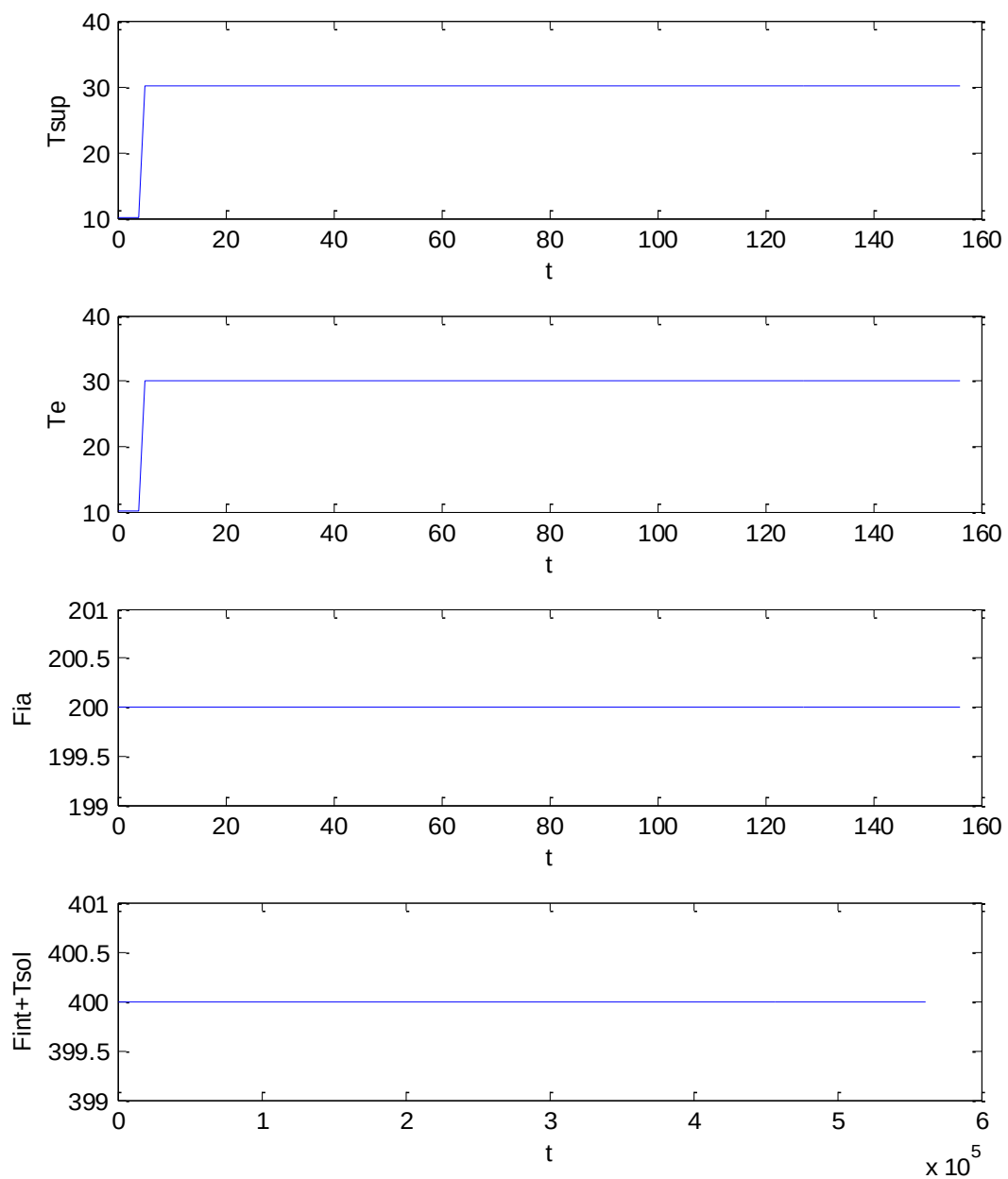


Figura 44: Vettori di ingresso con gradino di temperatura prolungato per più giorni

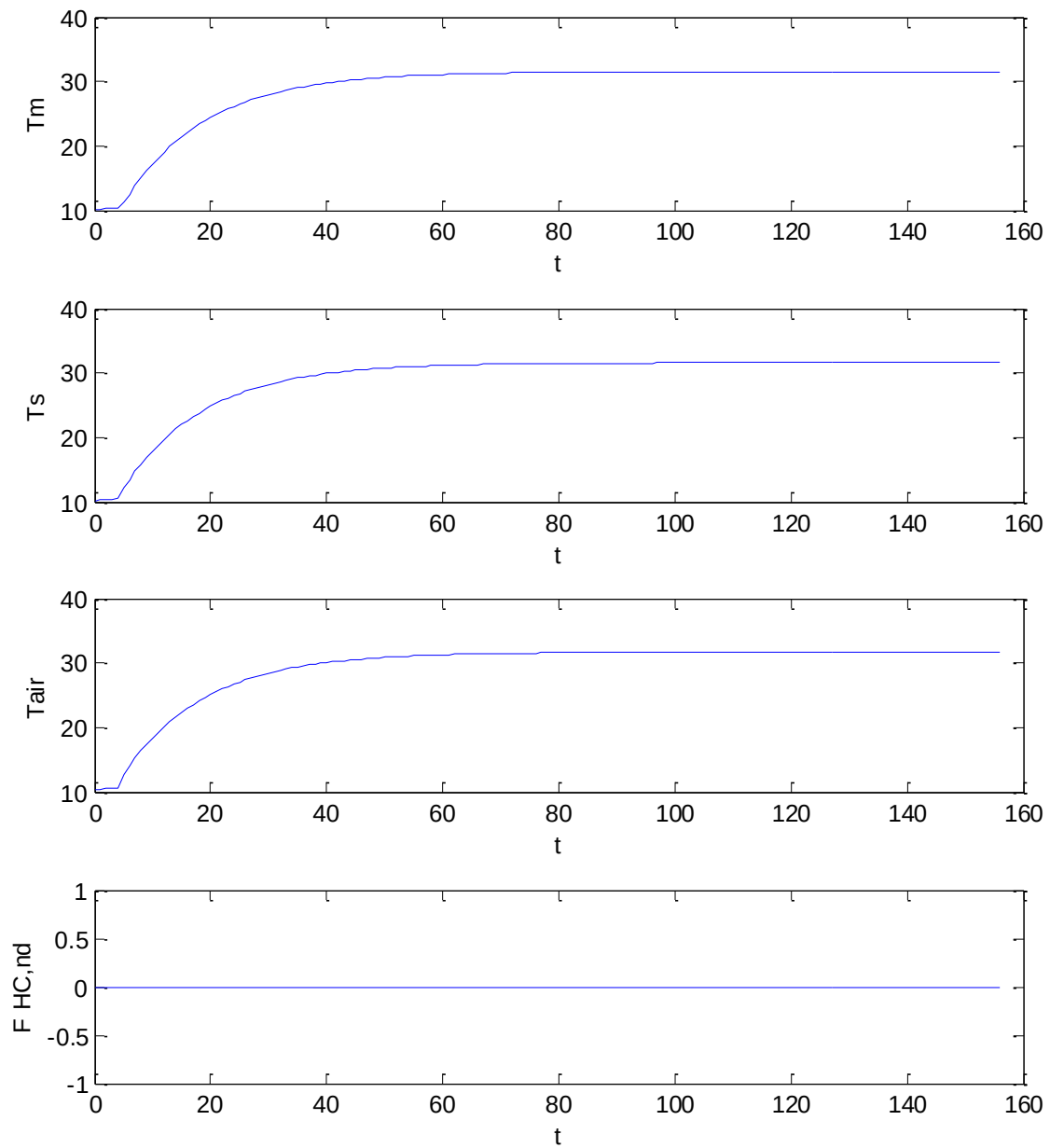


Figura 45: Vettori di calcolo per il gradino di temperatura prolungato

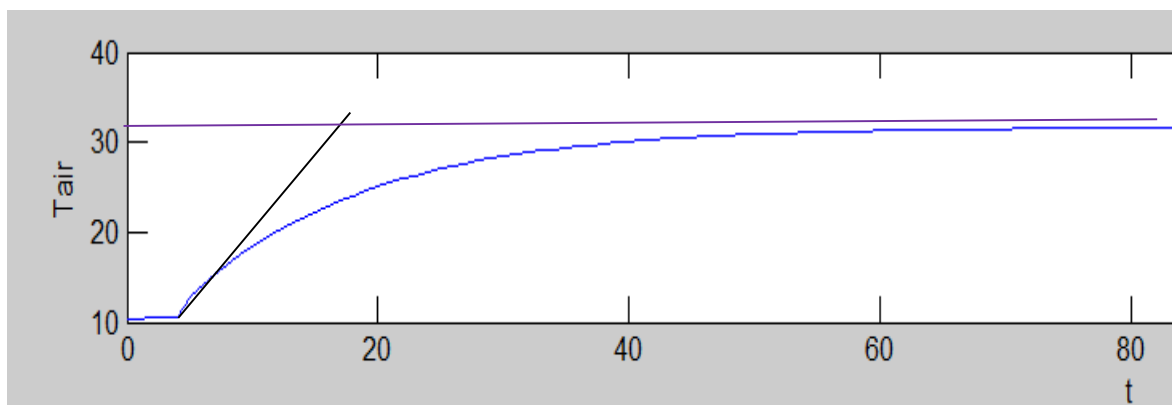


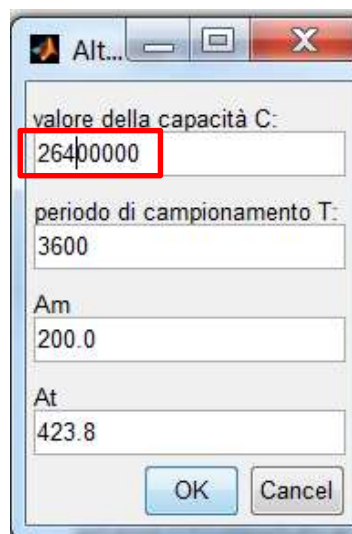
Figura 46: Particolare del transitorio della temperatura interna

5.3.8 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLA CAPACITÀ TERMICA – GRADINO DI IRRAGGIAMENTO

Con riferimento allo stesso edificio con quattro ambienti già visto si vuole vedere l'effetto della capacità termica quando l'edificio è sollecitato con un gradino di Irraggiamento solare, restando sempre costante la temperatura esterna e pari a 15 °C.

In Figura 48 si hanno i vettori di input per sette giorni consecutivi (in modo da stabilizzare il transitorio termico) nella quale sono visibili i gradini del flusso solare. In Figura 49 si hanno i vettori di calcolo, sempre per sette giorni, in risposta ai gradini del flusso solare.

In Figura 50 si ha il particolare della sola T_{air} e con l'indicazione del campo di variabilità, a regime, fra 19.5 e 25.5 °C. Si ripetono i calcoli raddoppiando la capacità termica, come fatto in precedenza.



The image shows a software dialog box with a title bar containing 'Alt...', a minus button, a maximize button, and a close button (X). The dialog box contains the following fields and values:

- valore della capacità C: 26400000 (this value is highlighted with a red rectangle)
- periodo di campionamento T: 3600
- Am: 200.0
- At: 423.8

At the bottom of the dialog box are two buttons: 'OK' and 'Cancel'.

Figura 47: Input dati con capacità termica raddoppiata

Si hanno i vettori di calcolo di Figura 53 e in Figura 51 si ha il particolare della sola T_{air} con l'indicazione della variabilità che ora va da 20 °C a 23 °C. Anche in questo caso si ottiene un risultato prevedibile: la capacità termica attenua le oscillazioni termiche interne dell'edificio. Infine si è ripetuto il calcolo nelle stesse ipotesi di transitorio per sette giorni con gradini di flusso solare ma con una temperatura esterna di 30 °C (per giugno).

I risultati di calcolo sono riportati in Figura 54 e in Figura 52 si ha il particolare per la sola T_{air} con l'indicazione della variabilità che ora va da 25.1 a 30 °C. L'effetto combinato della radiazione solare e della temperatura esterna fanno aumentare molto la temperatura interna dell'edificio. In tutti i casi esaminati il modello *R5C1* ha risposto bene alle varie ipotesi di calcolo.

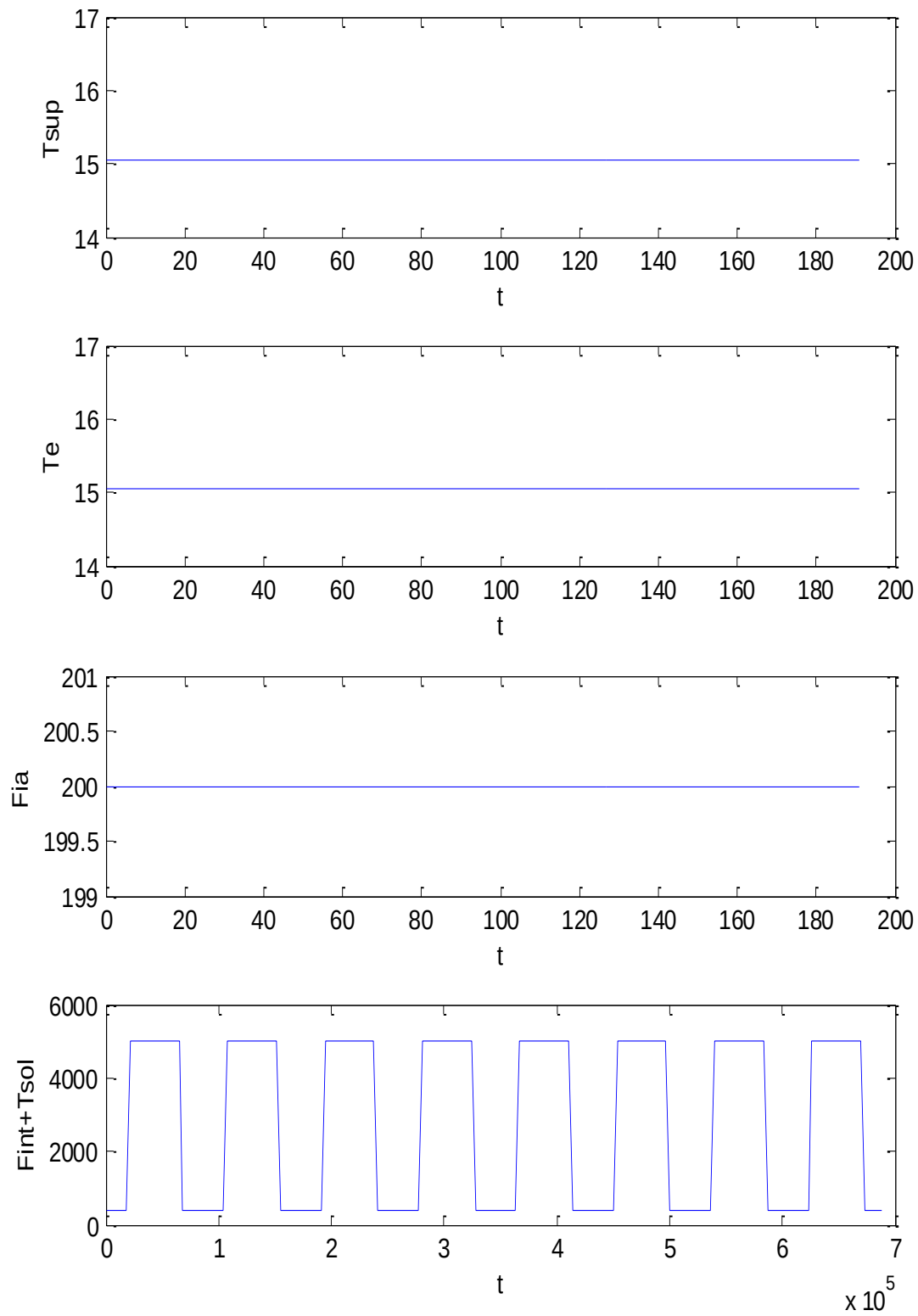


Figura 48: Vettori di input per 7 giorni per gradino di flusso solare

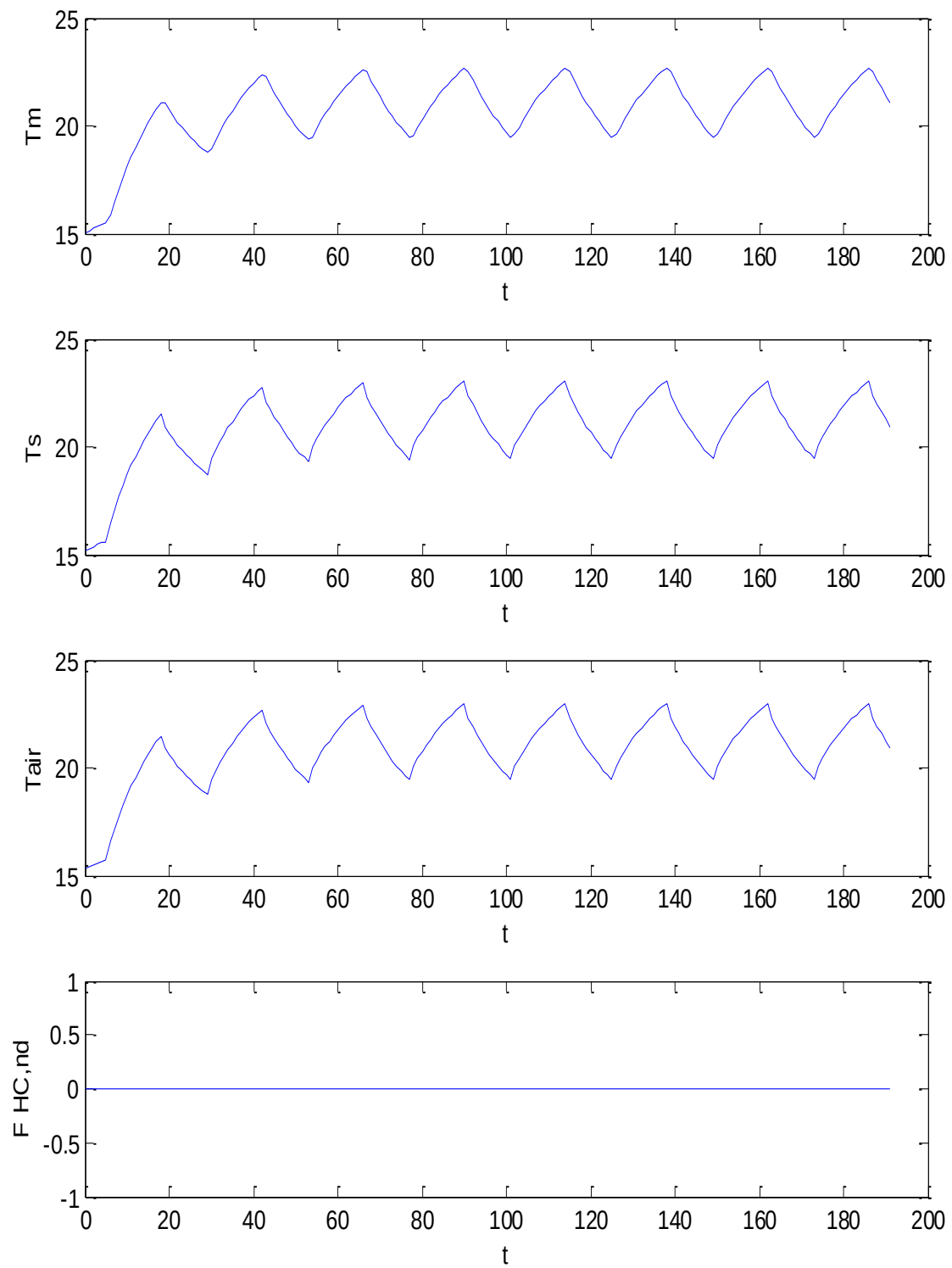


Figura 49: Vettori di calcolo per 7 giorni con gradino di flusso solare

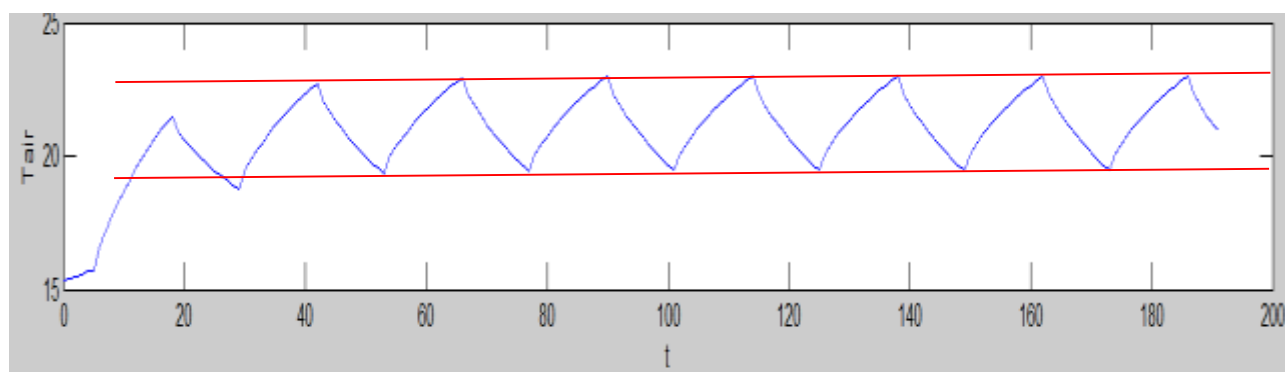


Figura 50: Particolare di T_{air} per risposta a gradino di flusso solare per 7 giorni

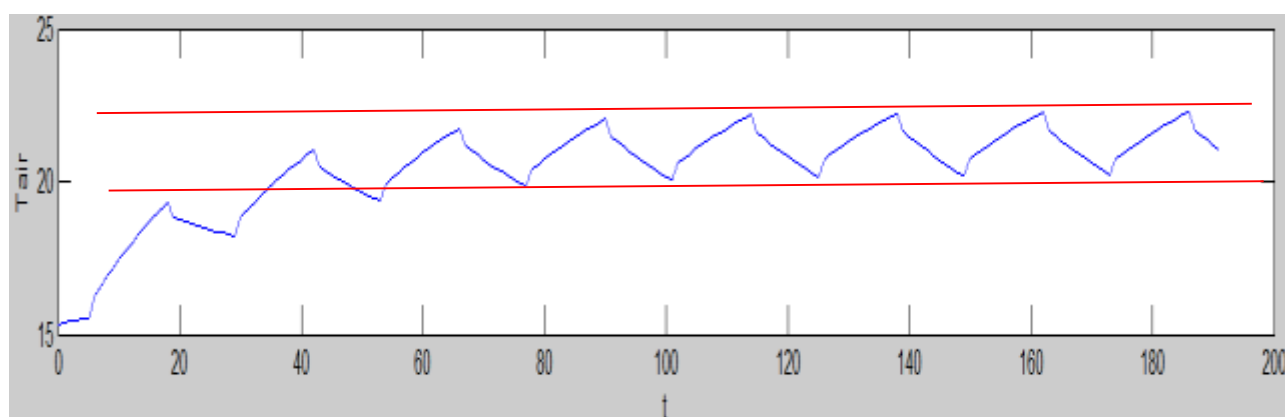


Figura 51: Particolare di T_{air} per risposta a gradino di flusso solare per 7 giorni con 2C

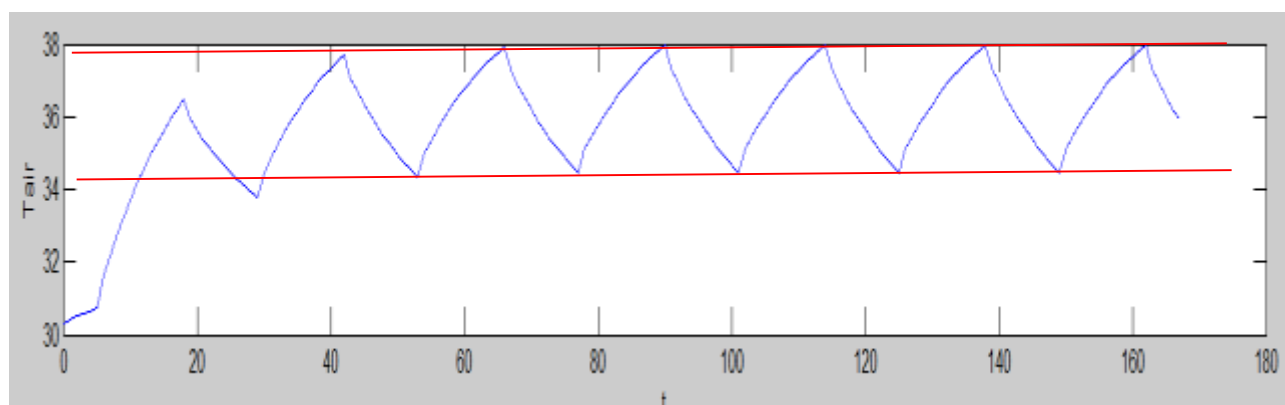


Figura 52: Particolare di T_{air} per risposta a gradino di flusso solare per 7 giorni con Test=30 °C

Osservazioni sulle risposte ai gradini

Gli esempi sopra riportati possono sembrare un esercizio di *Termofisica degli Edifici* ma in realtà tendono a dimostrare la correttezza di funzionamento delle routine di calcolo e la validità del modello *R5C1*.

Quando si calcolano evoluzioni reali con variabili esterne non costanti (temperatura esterna, flusso solare, flussi interni) allora verificare la correttezza dei risultati di calcolo non è facile.

La risposta della temperatura interna ai gradini di temperatura o di flusso solare è abbastanza nota coincidendo, nel caso di sistema di tipo *RC*, con un'esponenziale. Questo risultato è ampiamente verificato nelle figure esposte in precedenza.

L'aver separato la risposta al gradino di temperatura da quella al gradino di flusso solare ha consentito di verificare la validità del modello in ciascuno dei due casi.

Ancora una volta si sottolinea la flessibilità del modello di calcolo proposto e in particolare come, calcolate le conduttanze e la capacità termica dell'edificio, basta cambiare i vettori di input per calcolare la risposta a qualsivoglia condizione di carico.

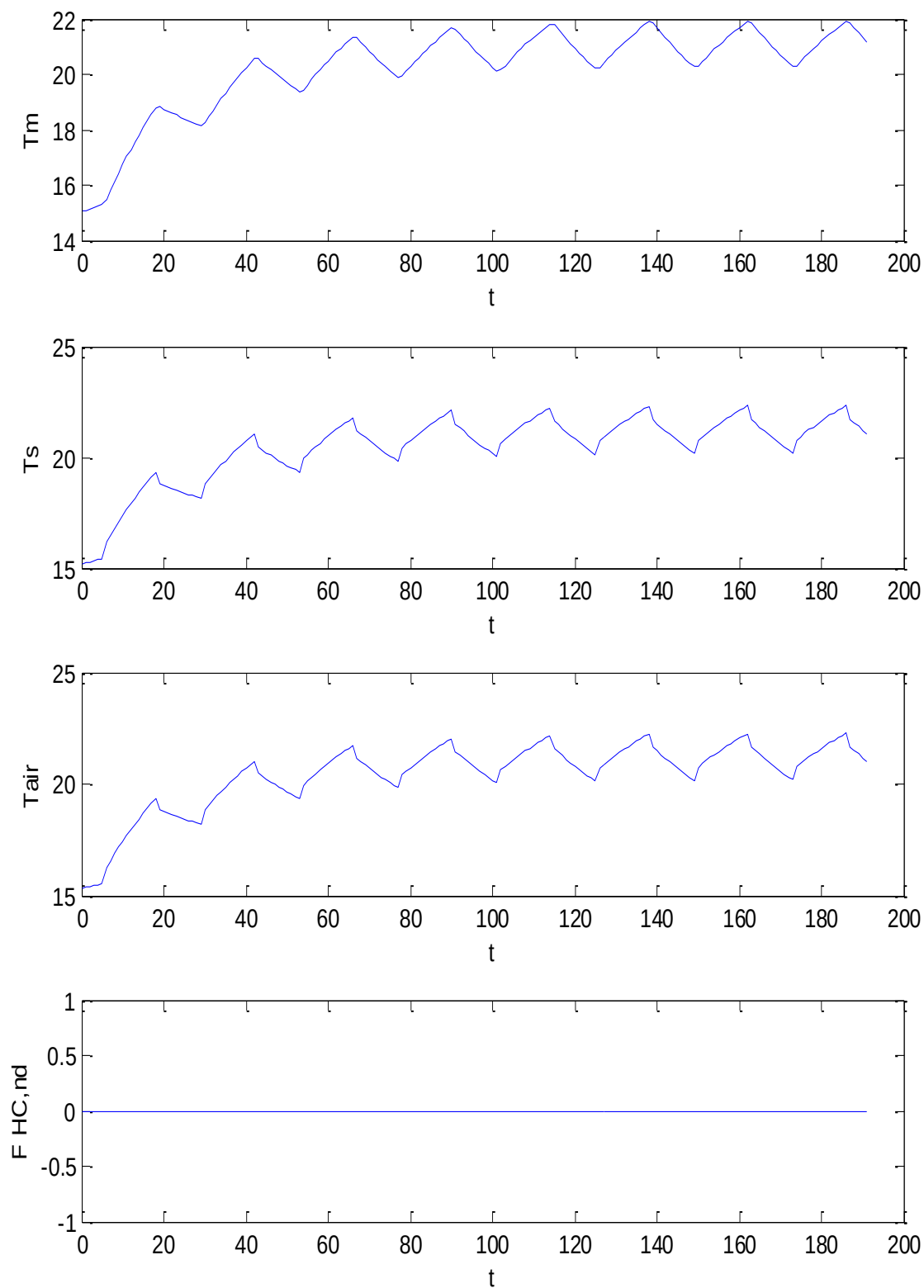


Figura 53: Vettori di calcolo per 7 giorni per gradini di flusso solare con capacità 2C

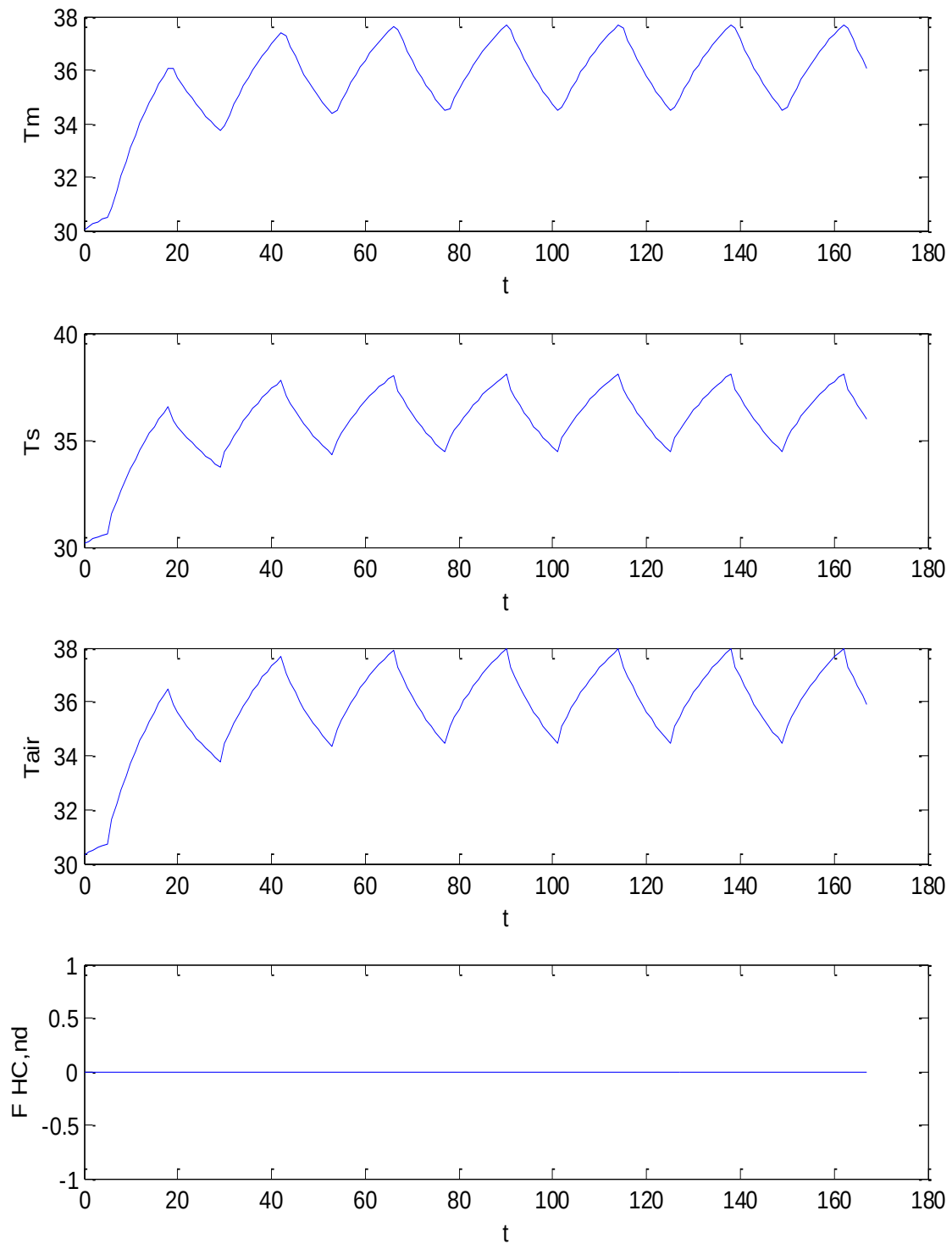


Figura 54: Vettori di calcolo per 7 giorni con gradini di flusso solare e $T_{est}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$

5.3.9 SOLUZIONE DEL MODELLO R5C1 DELLA UNI EN 13790 CON TEMPERATURA AMBIENTE IMPOSTA

Si suppone che la temperatura interna degli ambienti sia mantenuta costante, cioè sia termostata per effetto della regolazione termica e dell'utilizzo di un impianto di climatizzazione, e di conseguenza abbia un valore imposto, T_{set} . In questo caso le variabili esterne sono ancora P_1 , P_2 , I_1 , I_2 ed I_3 .

La P_5 corrispondente all'a T_{air} , è nota e rimangono da calcolare P_3 , P_4 e il flusso I_{out} che ora coincide con l'*extraction rate*.

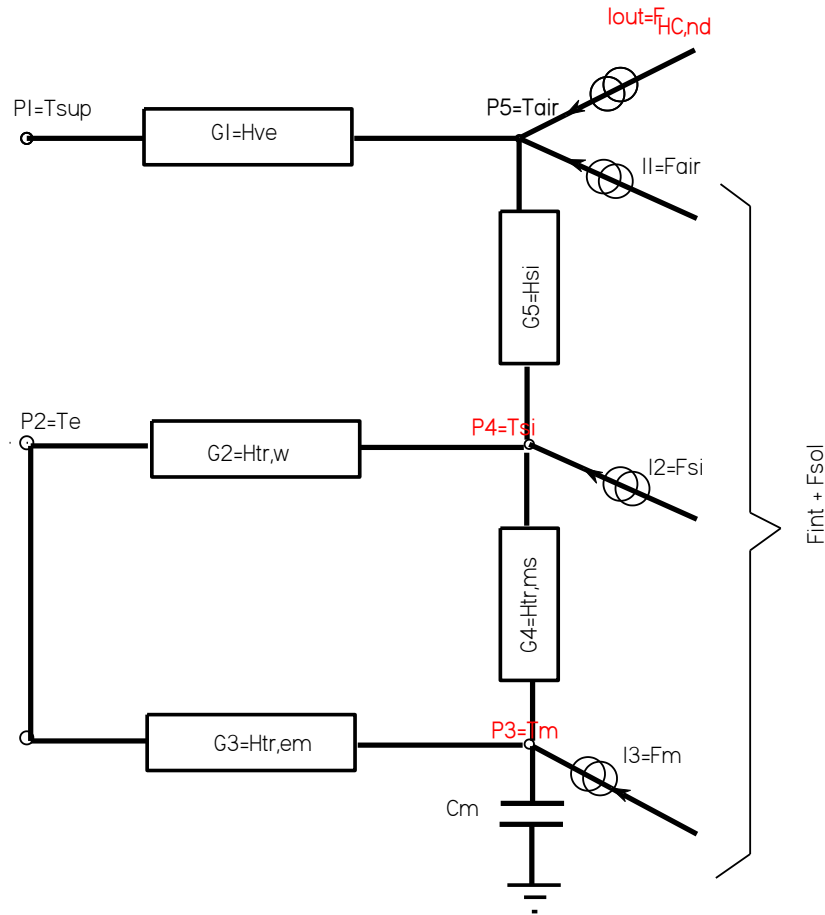


Figura 55: Circuito R5C1 con Temperatura dell'aria imposta

Con riferimento alla Figura 55, ove sono indicate in rosso le incognite da calcolare, le equazioni di bilancio ai nodi, indicando con le G le conduttanze, $1/R$ definite in precedenza, sono le seguenti:

- *Nodo P_3 :*

$$C \frac{dP_3}{dt} = I_3 + G_4(P_4 - P_3) + G_3(P_2 - P_3)$$

- *Nodo P_4 :*

$$I_2 + G_4(P_3 - P_4) + G_2(P_2 - P_4) + G_5(P_5 - P_4) = 0$$

Si ricordi che I_3 e la I_2 sono fra loro legate dalla relazione, giusto quanto indicato dalla UNI EN 13790:

$$I_3 = F_m = 0.5 \frac{A_m}{A_t} (F_{\text{int}} + F_{\text{sol}})$$

Si può indicare con F_t la somma dei flussi interni e solari:

$$F_t = F_{\text{int}} + F_{\text{sol}}$$

con il simbolismo indicato in precedenza. E inoltre si ha:

$$I_2 = F_{st} = 0.5 \left(1 - \frac{A_m}{A_t} - \frac{G_2}{9.81 A_t} \right) (F_{\text{int}} + F_{\text{sol}})$$

Ne segue che:

$$I_2 = 0.5 (F_{\text{int}} + F_{\text{sol}}) \left(1 - \frac{G_2}{9.81 A_t} \right) - I_3$$

In ingresso al modello di calcolo si fornisce allora solo F_t ricavando automaticamente I_2 e I_3 .
Il flusso al nodo P_5 (cioè T_{air}) vale:

$$I_{\text{out}} = -I_1 - G_1 (P_1 - P_5) - G_5 (P_4 - P_5)$$

Posto:

$$A = \frac{I_2 + G_2 P_2 + G_5 P_5}{G_2 + G_4 + G_5}$$

$$B = \frac{G_4}{G_2 + G_4 + G_5}$$

$$P_4 = A + B P_3$$

$$A_1 = G_3 + G_4 - G_4 B$$

$$C \frac{dP_3}{dt} + A_1 P_3 = I_3 + G_3 P_2 + G_4 A$$

che deve essere risolta come equazione differenziale di primo ordine non omogenea, come già indicato in precedenza per l'evoluzione libera.

Alla fine si ottiene:

$$I_{\text{out}} = G_1 (P_5 - P_1) + G_5 (P_5 - P_4) - I_1$$

5.3.10 METODI DI HEUN PER LA SOLUZIONE A TEMPERATURA IMPOSTA

Riprendendo quanto detto per l'evoluzione libera si ha, ora:

$$F(t, P_3(t)) = -\lambda(t) P_3(t) + g(t)$$

ove sono:

$$\lambda = \frac{G_3 + G_4 - G_4 B}{C}$$

e

$$g = \frac{I_3 + G_3 P_2 + G_4 A}{C}$$

con A e B definiti in precedenza.

La relazione recursiva è allora la seguente:

$$P_3(t_{n+1}) = S_1 P_3(t_n) + \frac{T}{2} f(t_n) + \frac{T}{2} g(t_{n+1})$$

ove si è posto:

$$S_1 = 1 - \lambda \frac{T}{2}$$

$$S_2 = 1 - \lambda T$$

$$f(t_n) = -\lambda P_3(t_n) + g(t_n)$$

La soluzione implementata corrisponde alla soluzione dell'equazione differenziale a coefficienti variabili.

Anche in questo caso si è implementato un codice di calcolo in *Matlab*®.

5.3.11 INTERFACCIA PER L'UTILIZZO DEL MODELLO IN EVOLUZIONE FORZATA

Vale quanto già detto nel paragrafo §3.3.2 per la soluzione del modello in evoluzione libera.

Il programma passa automaticamente dall'evoluzione libera a quella forzata e viceversa in base al valore della temperatura interna $P_5(t)$.

Quando questa è posta pari a 0 K allora risolve il modello in evoluzione libera, viceversa quando $P_5(t)$ è diverso da 0 K allora interpreta questo come il valore imposto (valore di settaggio del termostato) e quindi risolve il modello in evoluzione forzata, come illustrato nella figura seguente.

	P1	P2	P5	I1	Ft	G1
Imp-Avv	T-sup	Te (K)	Tair(K)	Fi.ia	Fint+Fsol	Hve
0	291,7	291,7	0,0	200	98,33	40,00
0	291,4	291,4	0,0	200	98,33	40,00
0	291,0	291,0	0,0	200	98,33	40,00
0	290,7	290,7	0,0	200	98,33	40,00
0	291,2	291,2	0,0	200	99,66	40,00
1	292,1	292,1	299,2	200	1665,40	40,00
1	293,4	293,4	299,2	200	2409,42	40,00
1	294,8	294,8	299,2	200	3068,84	80,00
0	296,6	296,6	0,0	200	3736,70	80,00
0	298,6	298,6	0,0	200	3754,23	80,00
0	299,3	299,3	0,0	200	4072,89	80,00
0	299,4	299,4	0,0	200	3947,52	80,00
0	299,0	299,0	0,0	200	4328,97	80,00
0	298,8	298,8	0,0	200	4758,94	80,00
0	298,6	298,6	0,0	200	4619,91	80,00
0	298,3	298,3	0,0	200	4296,18	80,00
1	297,8	297,8	299,2	200	3957,52	80,00
1	297,1	297,1	299,2	200	3147,37	80,00
1	296,3	296,3	299,2	200	126,18	80,00
1	295,4	295,4	299,2	200	99,66	80,00
1	294,5	294,5	299,2	200	98,33	80,00
0	293,4	293,4	0,0	200	98,33	40,00
0	292,7	292,7	0,0	200	98,33	40,00
0	292,2	292,2	0,0	200	98,33	40,00

Figura 56: Vettori di ingresso con l'indicazione degli intervalli di accensione degli impianti

Caso esempio in evoluzione forzata per Giugno

Si è utilizzato lo stesso edificio a quattro ambienti, già indicato per il calcolo dell'evoluzione libera, imponendo una temperatura dell'aria interna pari a 26 °C costanti e dati esterni riferiti al mese di luglio, per il giorno medio mensile. Valgono ancora i dati della Tabella 7 e della Tabella 8.

Figura 57: Input dei dati in Matlab®

				P1	P2	P5	I1	Ft	G1
Te (°C)	Ta(°C)	Tvent (°C)	Imp-Avv	T-sup	Te (K)	Tair(K)	Fl.ia	Fint+Fsol	Hve
18,5	26,00	18,50	1	291,7	291,7	299,2	200	98,33	40,00
18,2	26,00	18,20	1	291,4	291,4	299,2	200	98,33	40,00
17,8	26,00	17,80	1	291,0	291,0	299,2	200	98,33	40,00
17,5	26,00	17,50	1	290,7	290,7	299,2	200	98,33	40,00
18,0	26,00	18,00	1	291,2	291,2	299,2	200	99,66	40,00
18,9	26,00	18,90	1	292,1	292,1	299,2	200	1665,40	40,00
20,2	26,00	20,20	1	293,4	293,4	299,2	200	2409,42	40,00
21,6	26,00	21,60	1	294,8	294,8	299,2	200	3068,84	80,00
23,4	26,00	23,40	1	296,6	296,6	299,2	200	3736,70	80,00
25,4	26,00	25,40	1	298,6	298,6	299,2	200	3754,23	80,00
26,1	26,00	26,10	1	299,3	299,3	299,2	200	4072,89	80,00
26,2	26,00	26,20	1	299,4	299,4	299,2	200	3947,52	80,00
25,8	26,00	25,80	1	299,0	299,0	299,2	200	4328,97	80,00
25,6	26,00	25,60	1	298,8	298,8	299,2	200	4758,94	80,00
25,4	26,00	25,40	1	298,6	298,6	299,2	200	4619,91	80,00
25,1	26,00	25,10	1	298,3	298,3	299,2	200	4296,18	80,00
24,6	26,00	24,60	1	297,8	297,8	299,2	200	3957,52	80,00
23,9	26,00	23,90	1	297,1	297,1	299,2	200	3147,37	80,00
23,1	26,00	23,10	1	296,3	296,3	299,2	200	126,18	80,00
22,2	26,00	22,20	1	295,4	295,4	299,2	200	99,66	80,00
21,3	26,00	21,30	1	294,5	294,5	299,2	200	98,33	80,00
20,2	26,00	20,20	1	293,4	293,4	299,2	200	98,33	40,00
19,5	26,00	19,50	1	292,7	292,7	299,2	200	98,33	40,00
19,0	26,00	19,00	1	292,2	292,2	299,2	200	98,33	40,00

Tabella 12: Vettori di input con impianto sempre attivo

I vettori di ingresso sono riportati in Tabella 12 ove è stata aggiunta la colonna del flusso interno totale:

$$F_t = F_{\text{int}} + F_{\text{sol}}$$

Anche in questo caso gli accoppiamenti sono stati modificati come illustrato per la simulazione precedente, Restano valide le medesime osservazioni fatte. Il controllo dei vettori discretizzati di input è riportato in Figura 58 mentre in Figura 60 si hanno i risultati di output.

In Figura 61 si hanno i risultati, per lo edificio in condizioni esterne simili (mese di Giugno a Catania), per l'*extraction rate* sensibile ottenuto con un programma che utilizza il metodo TFM.

Si osserva che non è qui considerato il calore latente perché il modello semplificato *R5C1* non lo prevede.

Pur con i necessari distinguo dovuti alla complessità del calcolo con il metodo TFM e agli innumerevoli parametri che questo metodo prende in considerazione, nonché la semplificazione del modello aggregato *R5C1*, si può ritenere accettabile il risultato ottenuto rispetto a quello ottenuto con un programma con il metodo TFM, vedi Figura 61.

Il Flusso $F_{NC,nd}$ risulta correttamente negativo nelle ore centrali del giorno in quanto è un flusso uscente necessario per mantenere le condizione desiderate di temperatura esterna.

Il programma TFM considera positivo il calore uscente per sua convenzione.

P1	P2	P5	I1	Ft
T-sup	Te (K)	Tair(K)	Fi.ia	Fint+Fsol
291,7	291,7	299,2	200	98,33
291,4	291,4	299,2	200	98,33
291,0	291,0	299,2	200	98,33
290,7	290,7	299,2	200	98,33
291,2	291,2	299,2	200	99,66
292,1	292,1	299,2	200	1665,40
293,4	293,4	299,2	200	2409,42
294,8	294,8	299,2	200	3068,84
296,6	296,6	299,2	200	3736,70
298,6	298,6	299,2	200	3754,23
299,3	299,3	299,2	200	4072,89
299,4	299,4	299,2	200	3947,52
299,0	299,0	299,2	200	4328,97
298,8	298,8	299,2	200	4758,94
298,6	298,6	299,2	200	4619,91
298,3	298,3	299,2	200	4296,18
297,8	297,8	299,2	200	3957,52
297,1	297,1	299,2	200	3147,37
296,3	296,3	299,2	200	126,18
295,4	295,4	299,2	200	99,66
294,5	294,5	299,2	200	98,33
293,4	293,4	299,2	200	98,33
292,7	292,7	299,2	200	98,33
292,2	292,2	299,2	200	98,33

Figura 58: Riepilogo dei dati di input per Giugno

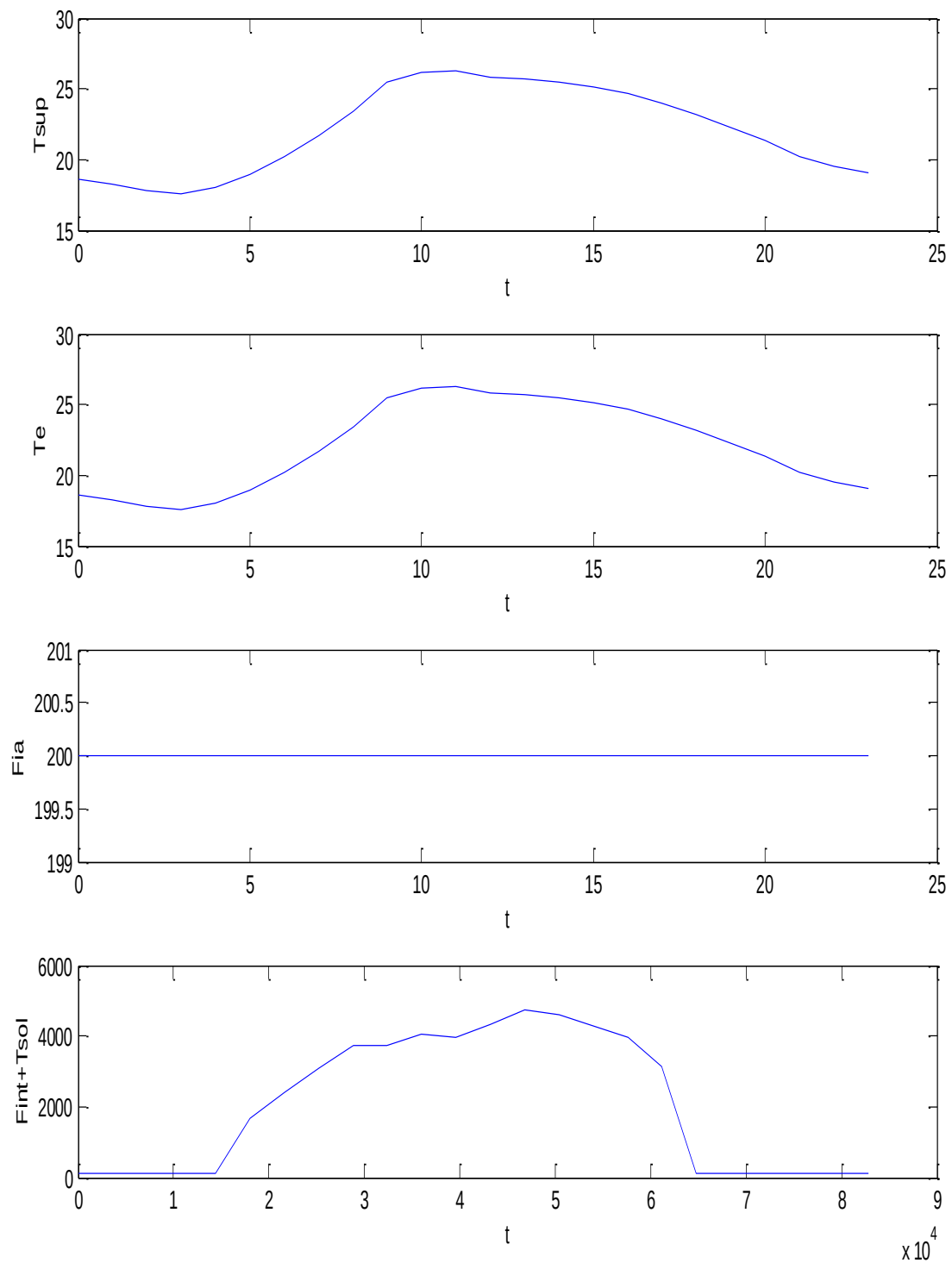


Figura 59: Vettori input per il modello in evoluzione forzata a Giugno

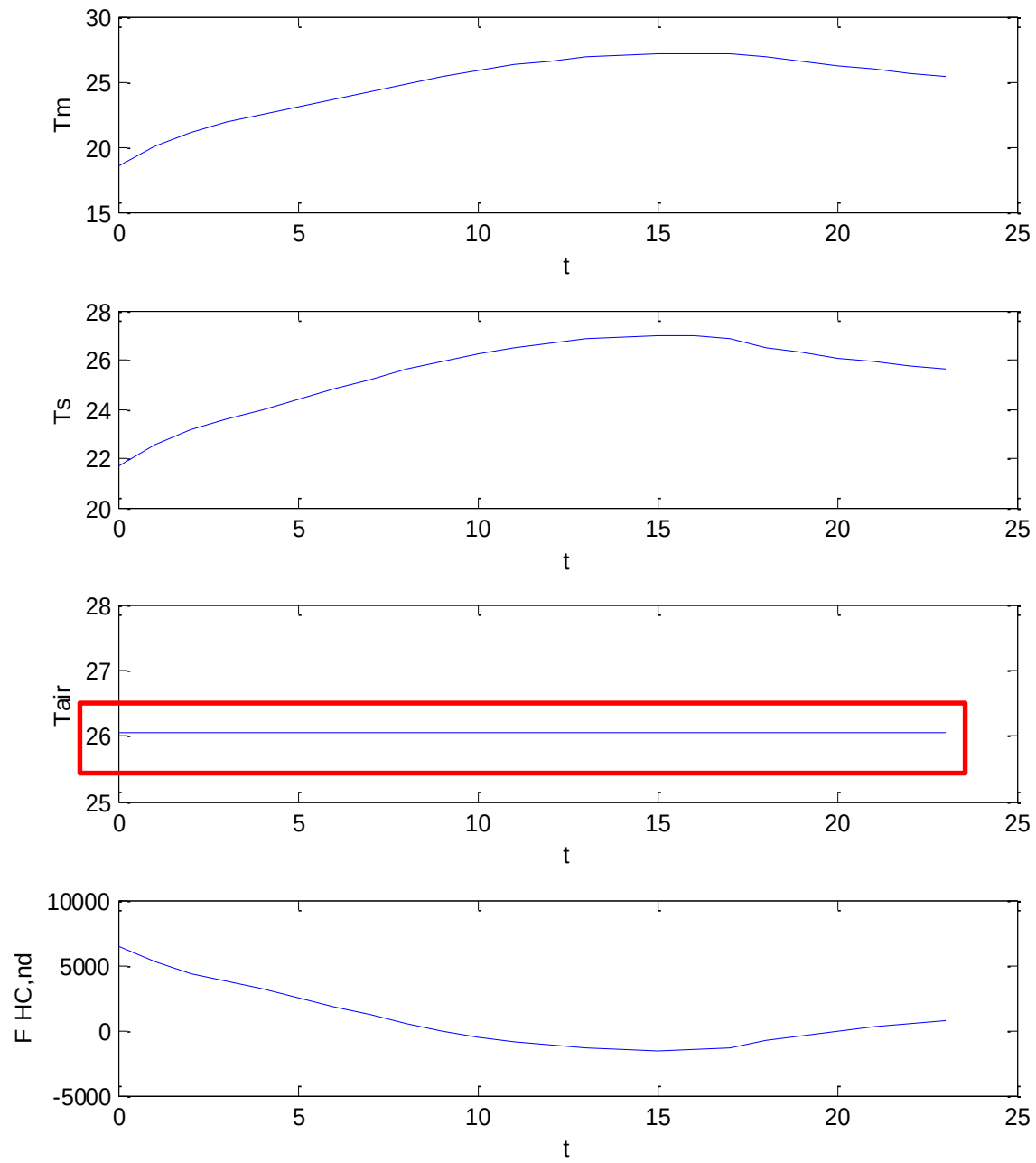


Figura 60: Riepilogo dei dati di output del modello in condizioni di temperatura imposta

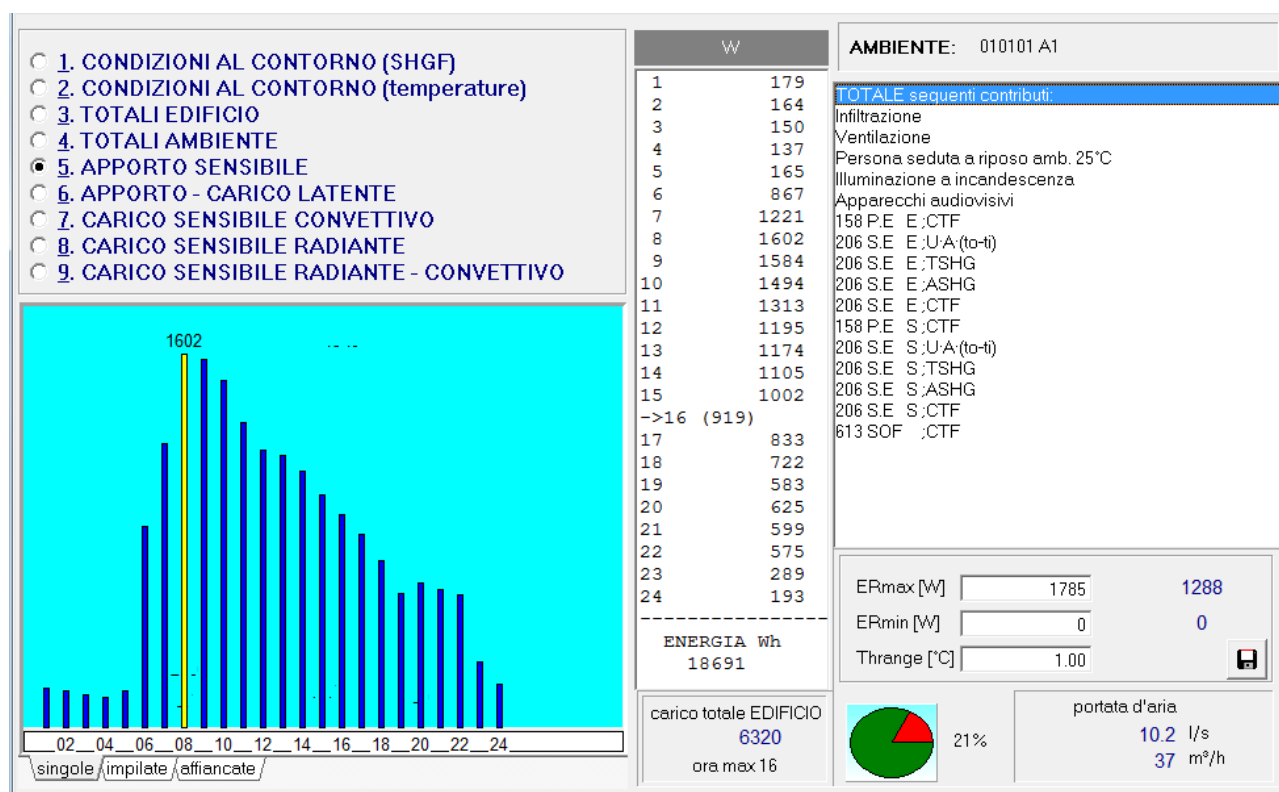


Figura 61: Extraction rate del calore sensibile ottenuto con un codice TFM

Caso esempio in evoluzione mista nel mese di Giugno

Si utilizzano ancora i dati indicati in precedenza per le conduttanze e la capacità termica mentre i vettori di input, sempre per il mese di luglio a Catania sono riportati nella tabella seguente.

Nella colonna *Imp-Avv* si ha **1** quando l'impianto è acceso e **0** quando l'impianto è spento. In questo modo si ha l'evoluzione libera con impianto spento ed evoluzione forzata con impianto acceso.

I dati relative alle conduttanze G e ai valori di C , A_m e A_t sono gli stessi riportati in precedenza (dipendenti solo dall'edificio e non dalle condizioni esterne).

In questo caso si sono applicate le relazioni indicate dalla Norma UNI EN 13790 per il calcolo delle conduttanze di accoppiamento $H_{tr,ms}$ e $H_{tr,em}$ con 9.81 per h_{ms} , come già osservato per l'evoluzione libera. Ciò conferma le osservazioni fatte in precedenza sulla correttezza del calcolo delle conduttanze di accoppiamento proposte dalla Norma.

Come si può osservare dalla Figura 63, i risultati in regime misto sono molto influenzati dai periodi di accensione degli impianti (regime d'uso, vedi zona bordata in rosso) e dalle condizioni in cui si trovano gli ambienti quando gli impianti sono accesi.

Si osservi come la T_{air} non sia più considerata nota (tranne nei casi in cui è imposta) e allora nei diagrammi di output viene raffigurata per tutte le 24 ore in modo da poter osservare come, durante l'evoluzione libera, essa vari molto in funzioni dei flussi esterni, vedi Figura 63.

	P1	P2	P5	I1	Ft	G1
Imp-Avv	T-sup	Te (K)	Tair(K)	Fi.ia	Fint+Fsol	Hve
0	291,7	291,7	0,0	200	98,33	40,00
0	291,4	291,4	0,0	200	98,33	40,00
0	291,0	291,0	0,0	200	98,33	40,00
0	290,7	290,7	0,0	200	98,33	40,00
0	291,2	291,2	0,0	200	99,66	40,00
0	292,1	292,1	0,0	200	1665,40	40,00
0	293,4	293,4	0,0	200	2409,42	40,00
0	294,8	294,8	0,0	200	3068,84	80,00
0	296,6	296,6	0,0	200	3736,70	80,00
0	298,6	298,6	0,0	200	3754,23	80,00
1	299,3	299,3	299,2	200	4072,89	80,00
1	299,4	299,4	299,2	200	3947,52	80,00
1	299,0	299,0	299,2	200	4328,97	80,00
1	298,8	298,8	299,2	200	4758,94	80,00
1	298,6	298,6	299,2	200	4619,91	80,00
1	298,3	298,3	299,2	200	4296,18	80,00
1	297,8	297,8	299,2	200	3957,52	80,00
1	297,1	297,1	299,2	200	3147,37	80,00
1	296,3	296,3	299,2	200	126,18	80,00
1	295,4	295,4	299,2	200	99,66	80,00
1	294,5	294,5	299,2	200	98,33	80,00
0	293,4	293,4	0,0	200	98,33	40,00
0	292,7	292,7	0,0	200	98,33	40,00
0	292,2	292,2	0,0	200	98,33	40,00

Tabella 13: Dati di input per il modello R5C1 per il mese di Giugno

E' superfluo osservare che nei casi di spegnimento degli impianti è proprio questo che avviene: l'aria interna varia la sua temperatura in funzione dei bilanci energetici dell'edificio e non si hanno effetti da parte degli impianti spenti.

Quando l'impianto si rimette in funzione non trova la temperatura interna al valore T_{set} ma al valore che essa ha in transitorio al momento della riaccensione.

Le condizioni dell'aria interna sono, in generale, più gravose per entrambi le condizioni stagionali: in inverno T_{air} scende al di sotto di T_{set} mentre in estate avviene il contrario.

I consumi energetici sono, di conseguenza, più elevati rispetto ai casi in cui i disperdimenti o le rientrate di calore sono calcolate rispetto al valore T_{set} .

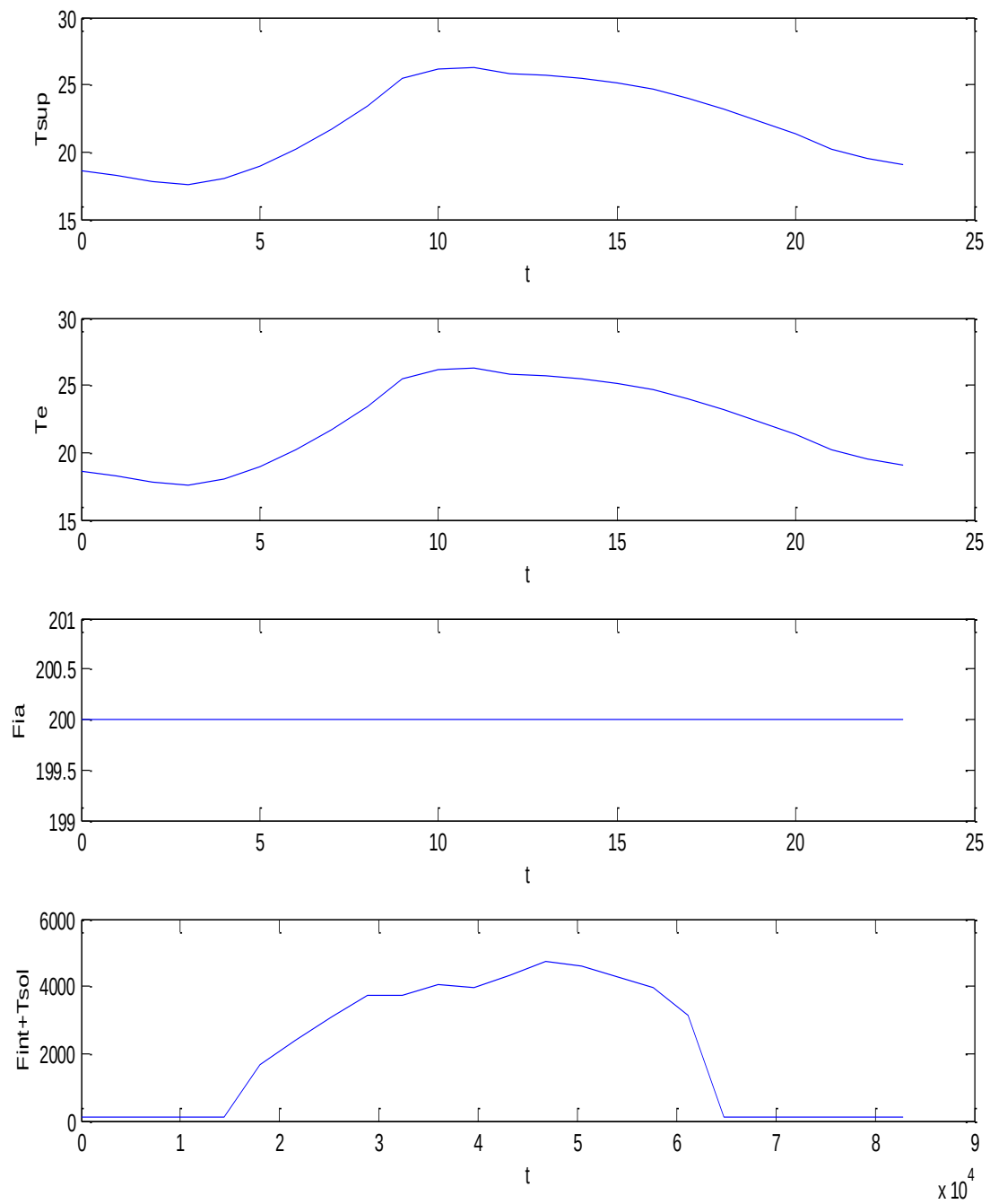


Figura 62: Vettori di ingresso per il caso di evoluzione mista per il modello R5C1

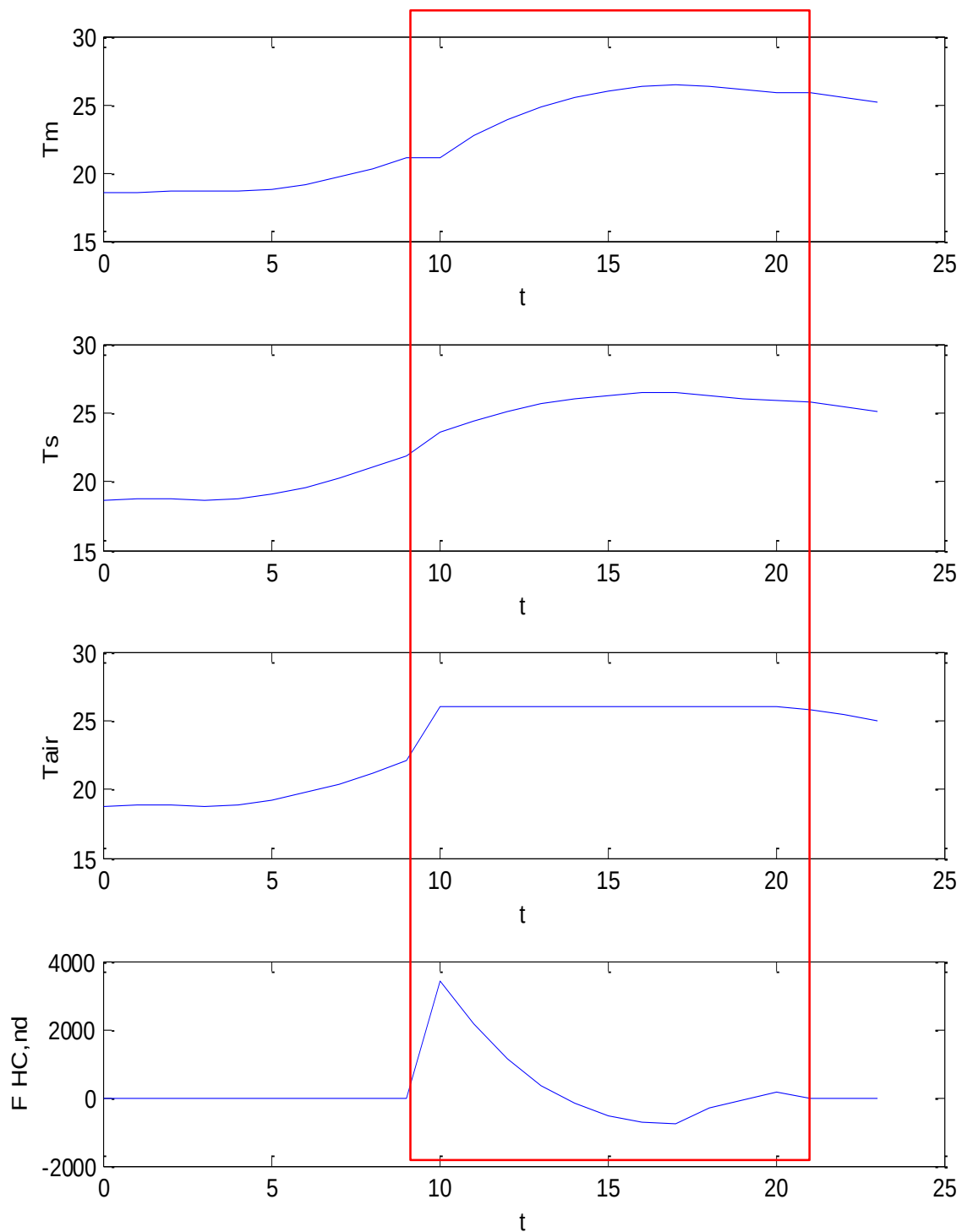


Figura 63: Risultati del modello R5C1 per evoluzione mista a Giugno

Caso esempio in evoluzione mista nel mese di Gennaio

Con riferimento allo stesso edificio con quattro ambienti, utilizzato per i casi esempi precedenti, si desidera studiare il caso del riscaldamento invernale per il mese di Gennaio.

Parete	U	b.tr	S	aU/he	Aeff	Beta	fkc	H.tr
Nord	0,384	1	30,00	0,008	0,23	1,57	0,500	11,52
Finestra	3,02	1	0,00	0,800	0,00	1,57	0,500	0,00
Sud	0,384	1	24,60	0,008	0,19	1,57	0,500	9,45
Finestra	3,02	1	5,40	0,800	4,32	1,57	0,500	16,31
Est	0,384	1	24,60	0,008	0,19	1,57	0,500	9,45
Finestra	3,02	1	5,40	0,800	4,32	1,57	0,500	16,31
Ovest	0,384	1	24,60	0,008	0,19	1,57	0,500	9,45
Finestra	3,02	1	5,40	0,800	4,32	1,57	0,500	16,31
Nord Est	0,384	1	0,00	0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,800	0,00	1,57	0,500	0,00
Nord Ovest	0,384	1	0,00	0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,800	0,00	1,57	0,500	0,00
Sud Est	0,384	1	0,00	0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,800	0,00	1,57	0,500	0,00
Sud Ovest	0,384	1	0,00	0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,800	0,00	1,57	0,500	0,00
Pavimento	0,737	0	100,00	0,000	0,00	0	1,000	0,00
Soffitto	0,307	1	100,00	0,007	0,66	0	1,000	30,70
Pareti Int.	0,743	0	120,00		120,00	0	1,000	89,16

Tabella 14: Dati di input per edificio di 4 ambienti a Gennaio

G1=Hve	40,00
G2=Hw	48,92
G3=ht,em	173,87
G4=Ht,ms	1962,00
G5=Ht,is	1462,11
C	13.200.000
T	3600
Am	200,00
At	423,80

Tabella 15: Conduttanze per l'edificio con 4 ambiente

				P1	P2	P5	I1	Ft
Te (°C)	Ta(°C)	Tvent (°C)	Imp-Avv	T-sup	Te (K)	Tair(K)	Fi.ia	Fint+Fsol
7,9	20,00	7,90	0	281,1	281,1	0,0	200	98,33
7,6	20,00	7,60	0	280,8	280,8	0,0	200	98,33
7,3	20,00	7,30	0	280,5	280,5	0,0	200	98,33
7,1	20,00	7,10	0	280,3	280,3	0,0	200	98,33
7,0	20,00	7,00	0	280,2	280,2	0,0	200	98,33
6,9	20,00	6,90	0	280,1	280,1	0,0	200	98,33
7,0	20,00	7,00	0	280,2	280,2	0,0	200	98,33
7,7	20,00	7,70	0	280,9	280,9	0,0	200	278,36
8,9	20,00	8,90	0	282,1	282,1	0,0	200	770,39
10,4	20,00	10,40	0	283,6	283,6	0,0	200	1022,16
11,6	20,00	11,60	1	284,8	284,8	293,2	200	1256,12
12,7	20,00	12,70	1	285,9	285,9	293,2	200	1310,36
13,9	20,00	13,90	1	287,1	287,1	293,2	200	1458,89
14,3	20,00	14,30	1	287,5	287,5	293,2	200	1567,17
14,2	20,00	14,20	1	287,4	287,4	293,2	200	1425,07
13,8	20,00	13,80	1	287,0	287,0	293,2	200	1130,09
13,0	20,00	13,00	1	286,2	286,2	293,2	200	603,70
11,9	20,00	11,90	1	285,1	285,1	293,2	200	98,33
10,3	20,00	10,30	1	283,5	283,5	293,2	200	98,33
9,6	20,00	9,60	1	282,8	282,8	293,2	200	98,33
9,1	20,00	9,10	1	282,3	282,3	293,2	200	98,33
8,8	20,00	8,80	0	282,0	282,0	0,0	200	98,33
8,3	20,00	8,30	0	281,5	281,5	0,0	200	98,33
7,9	20,00	7,90	0	281,1	281,1	0,0	200	98,33

Tabella 16: Vettori di ingresso per gennaio

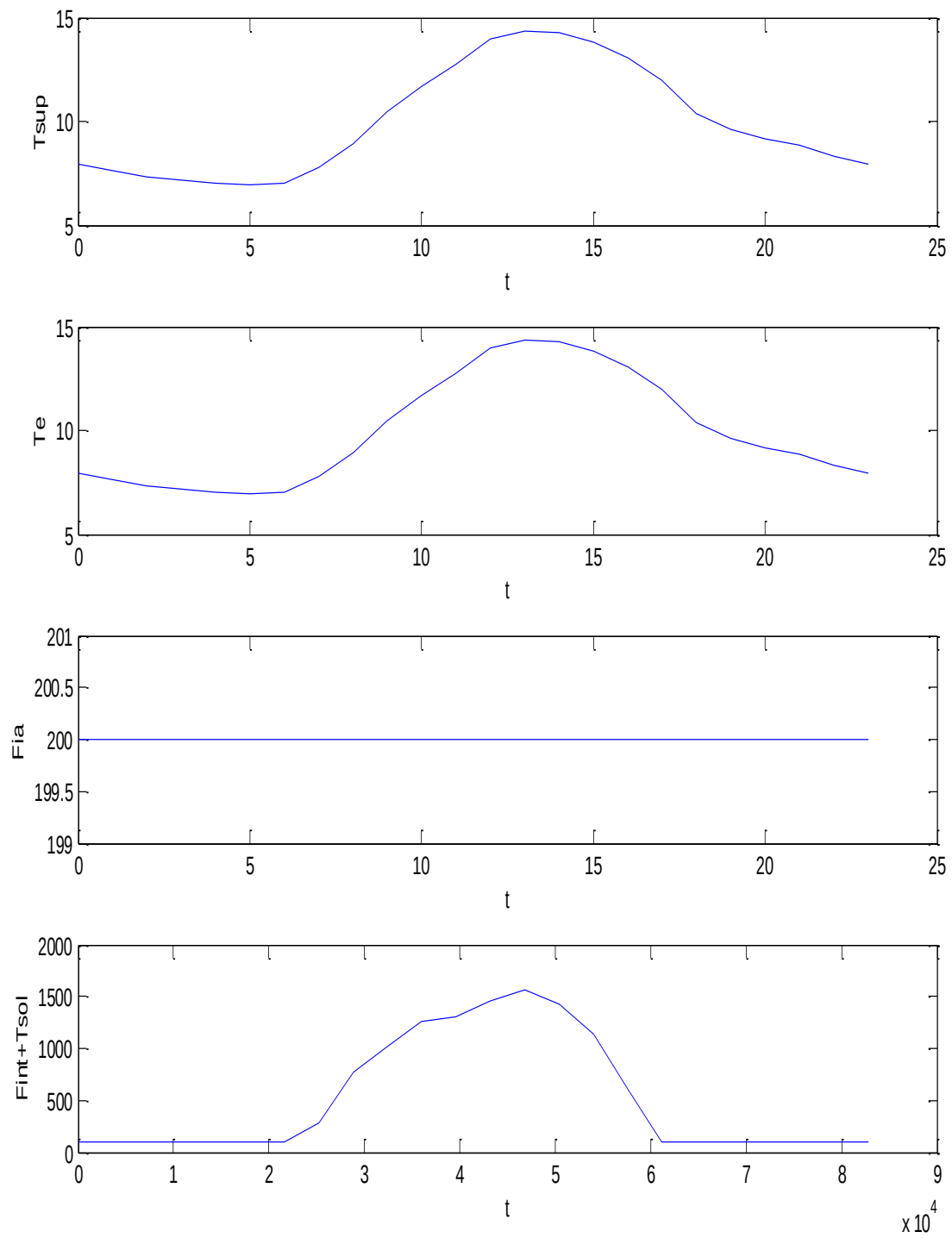


Figura 64: Vettori di input per Gennaio

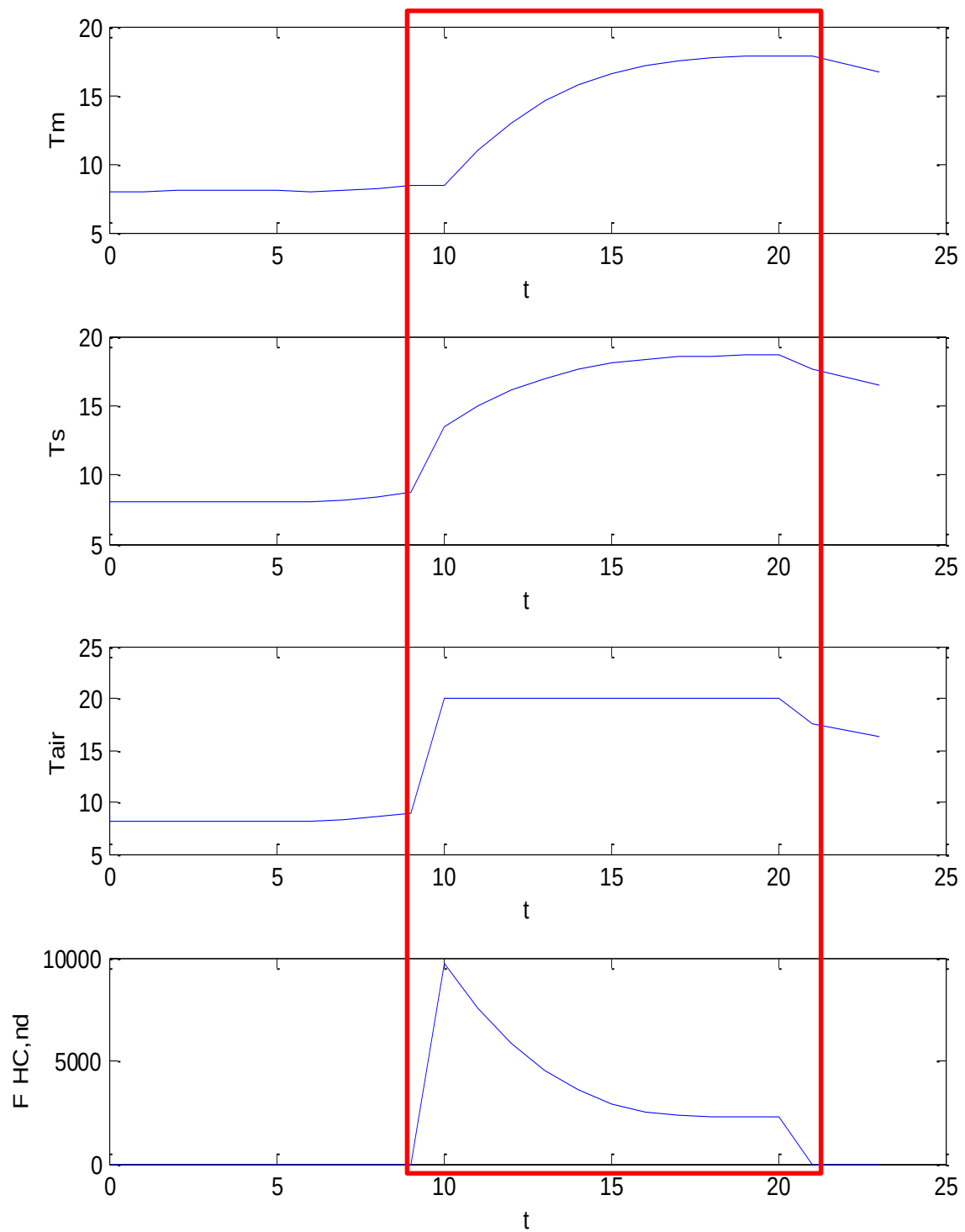


Figura 65: Risultati di calcolo per evoluzione mista per Gennaio

Calcolo su più giorni con il modello *R5C1* in evoluzione a Temperatura fissata a Gennaio

Il modello fino ad ora esaminato è quello semplificato orario. Ciò risulta utile anche al fine di simulare dinamicamente più giorni ed ottenere risultati che possono fare riferimento a serie temporali reali (serie storiche) e/o a data base esterni più completi.

Con riferimento solito edificio di quattro ambienti aventi dimensioni (5 x 5 x 3), ripetendo i dati per le prime 24 ore per più giorni di gennaio si hanno i vettori di input di Figura 66 ed i risultati di Figura 67.

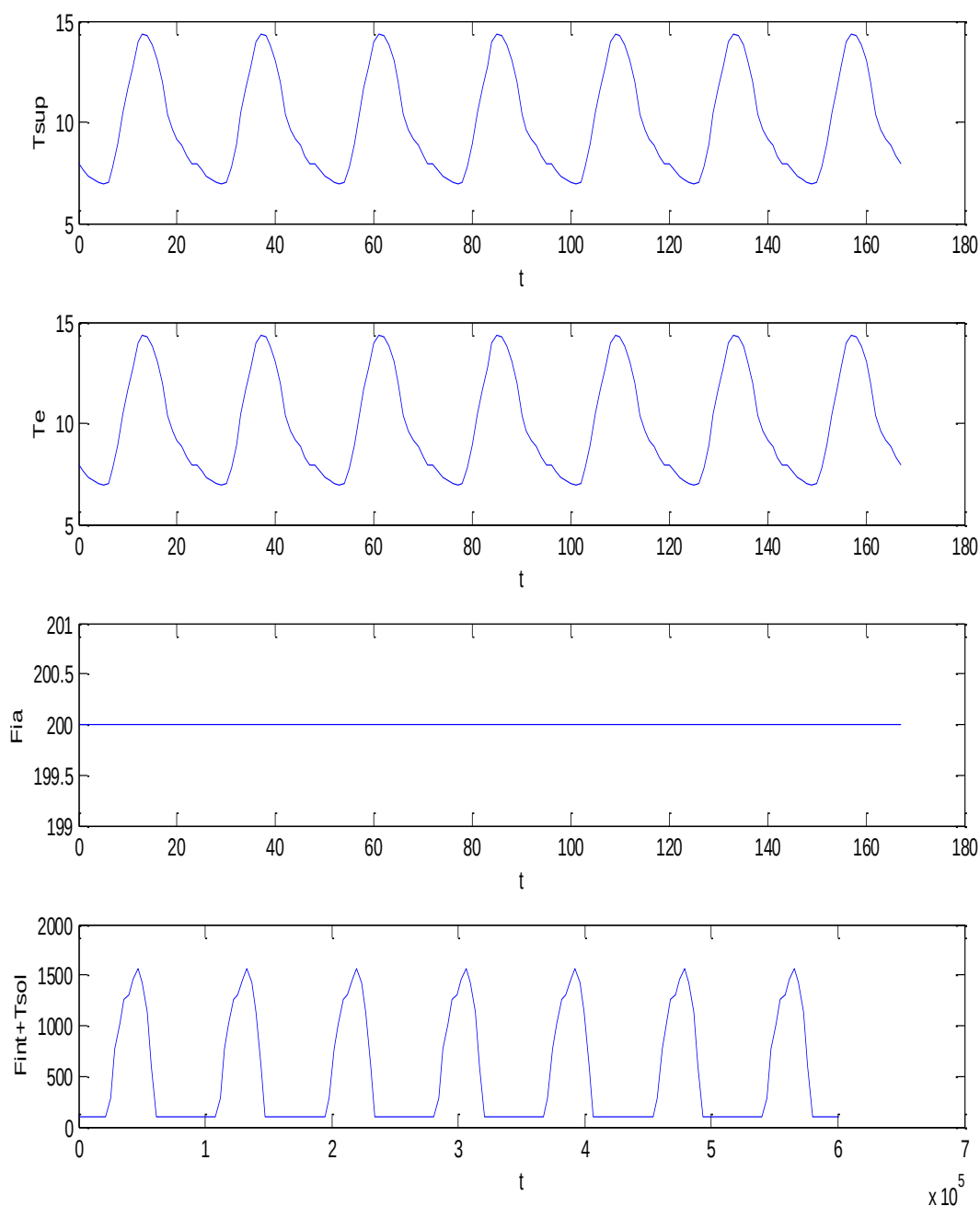


Figura 66: Dati di input per caso invernale con più giorni per *R5C1*

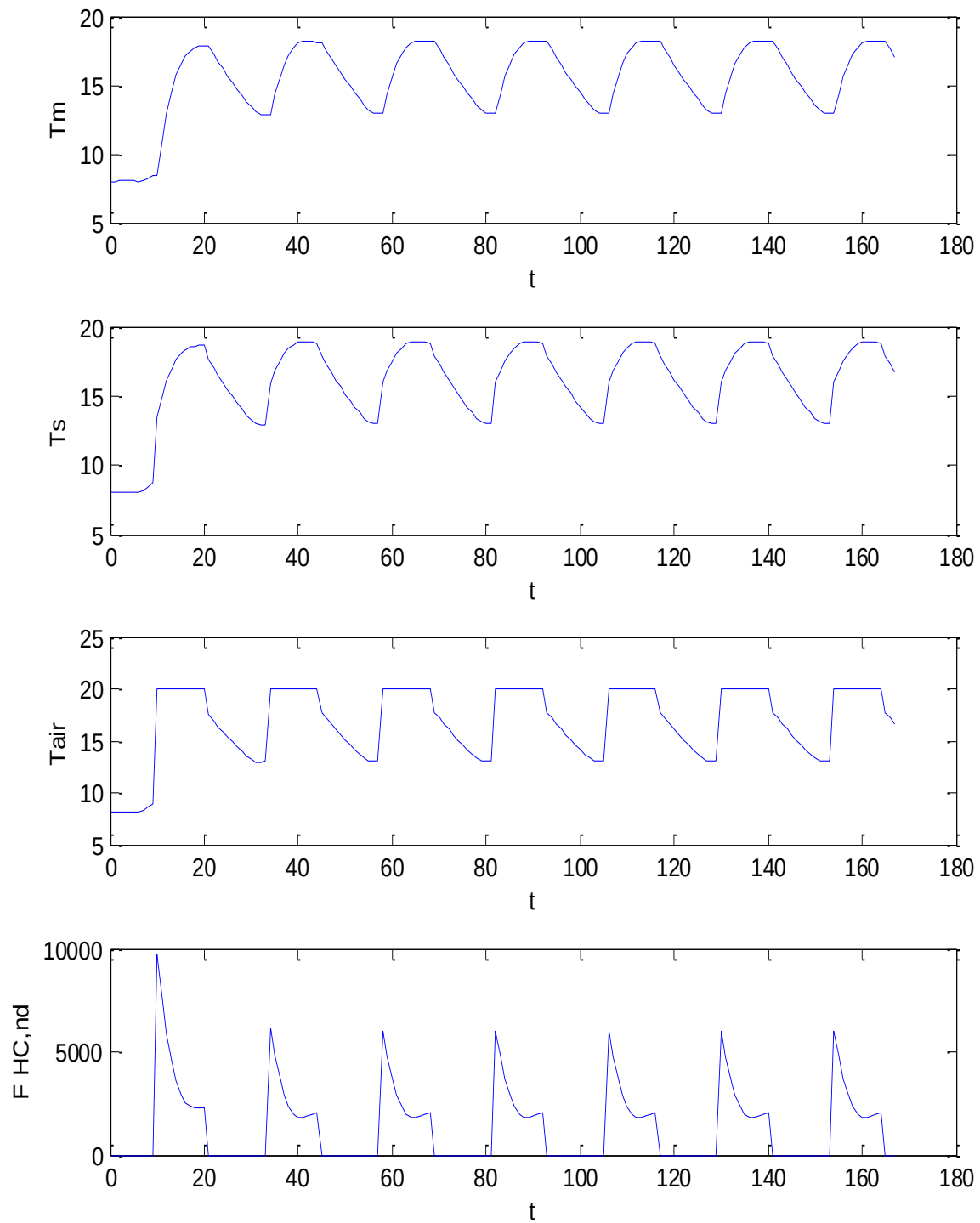


Figura 67: Risultati del modello R5C1 in condizioni invernali per più giorni

Non ci sono difficoltà, quindi, a simulare l'evoluzione ambientale con serie storiche opportunamente predisposte (vedi più avanti le applicazioni per il *Test Reference Year*³⁸, *TRY*).

In particolare si possono utilizzare i dati giornalieri medi mensili di temperatura esterna e di flusso solare per simulare anche il comportamento medio mensile.

In questo caso, tuttavia, si mantengono tutte le informazioni sulla variabilità delle grandezze calcolate e quindi si ha sempre un metodo di risoluzione dinamico.

Nel prosieguo si presenterà un'applicazione di questa metodologia di calcolo.

Si osserva, inoltre, che il calcolo orario non necessita delle correzioni indicate dalla UNI EN 13790 per il calcolo dell'energia utilizzata con il metodo medio mensile.

I transitori termici, infatti, sono automaticamente risolti dal modello in modo orario e non occorre introdurre alcun fattore correttivo. Il transitorio termico è risolto anche per la variazione delle condizioni interne dettate dall'uso dell'edificio (variabilità delle sorgenti interne secondo un profilo orario³⁹, accensione e spegnimento degli impianti, variazione delle condizioni dell'aria di ventilazione, ...).

Calcolo su più giorni con il modello *R5C1* in evoluzione a Temperatura fissata a Giugno

Con riferimento al caso del semplice edificio con quattro ambienti, vedi Figura 29, si sono effettuati calcoli per più giorni ripetuti per il mese di Luglio.

A conferma di quanto detto si è predisposto un input con una serie temporale di più giorni consecutivi e con condizioni climatiche relative al mese di Luglio, vedi Figura 68.

In particolare si può osservare come la temperatura dell'aria interna, T_{air} sia imposta a 26 °C quando gli impianti sono accesi.

I risultati conseguenti sono riportati in Figura 69 nella quale si può osservare sia l'andamento dinamico previsto che l'effetto dei transitori determinati dalla capacità termica C_m .

E' sempre opportuno osservare che il modello ridotto *R5C1* necessariamente introduce limitazioni di calcolo essendo un modello sintetico e che quindi non tiene conto nel dettaglio della fisica di ciascuna parete o di ciascun componente di involucro o di ciascun ambiente.

Un utilizzo del modello in modalità *multi room* (vedi nel prosieguo il Capitolo 5) potrebbe fornire tutte le informazioni desiderate per ogni ambiente.

In fondo ridurre le componenti di scambio termico dell'edificio a soli 5 elementi è certamente una grande semplificazione ma occorre accettare anche una conseguente imprecisione dei risultati rispetto a modelli di calcolo più puntuali e sofisticati.

Tuttavia l'implementazione del modello ridotto *R5C1* è relativamente semplice e non richiede grandi risorse di calcolo né eccessivi tempi di elaborazione.

Nelle elaborazioni effettuate si è sempre adottato, per rispetto della UNI EN 13790, la formulazione originale per $h_{ms} = 9.81 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

³⁸ Il *Test Reference Year*, *TRY*, è un insieme singolo di dati orari per 8760 ore in un anno di dati meteorologici e di irraggiamento solare per un dato luogo. La sua definizione ha lo scopo di ridurre i costi e i tempi di lunghe simulazioni per più anni e per fornire una base di dati conveniente ed affidabile per comparare metodi di previsione dei consumi energetici negli edifici, negli impianti solari termici e fotovoltaici e negli impianti eolici. La definizione del *TRY* dipende dal soddisfacimento delle condizioni statistiche per un set di valori pluriennale.

³⁹ Si vedano a tale scopo i prospetti 9 e 10 della UNI TS 11300/1.

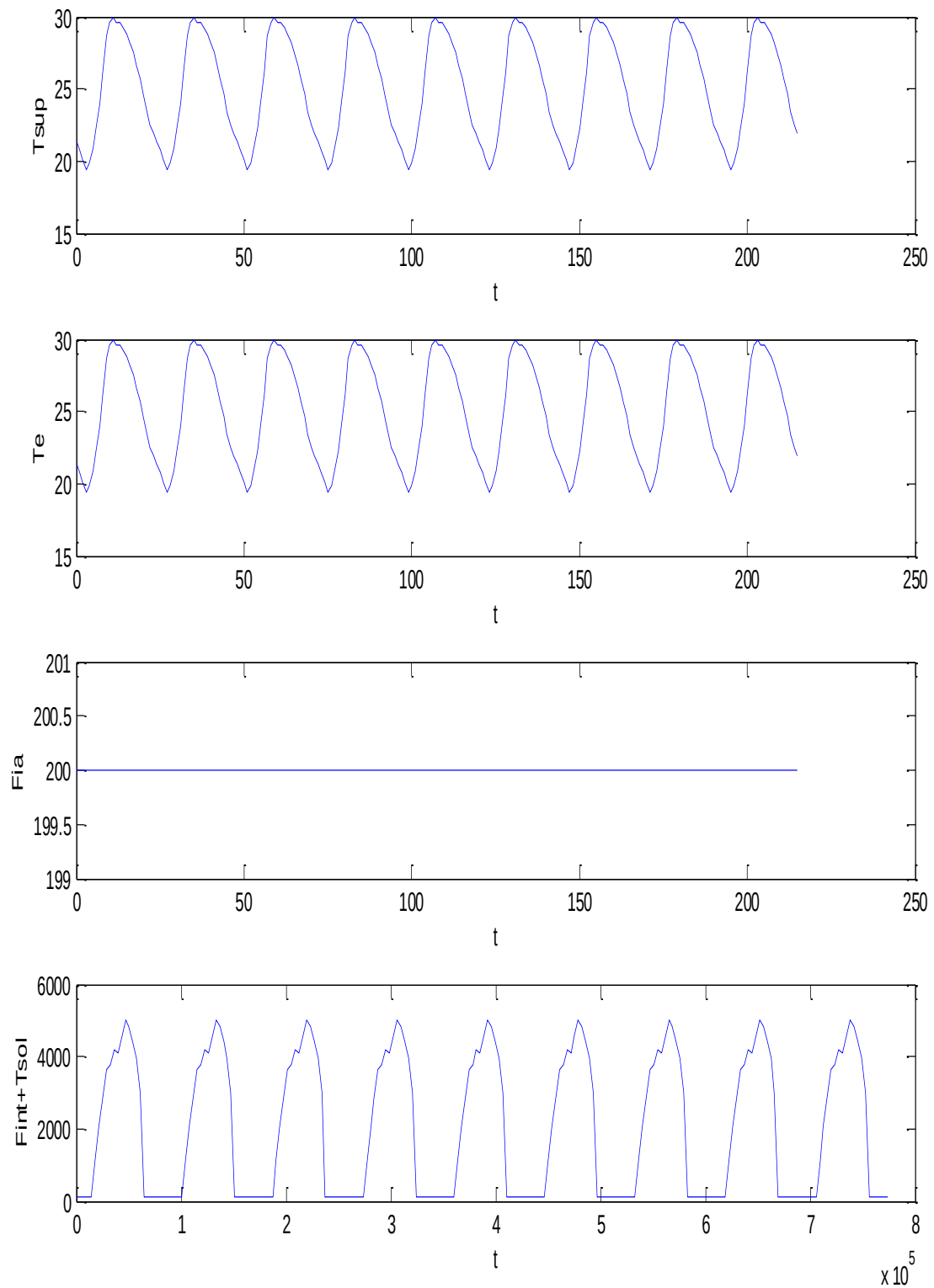


Figura 68: Input con serie temporale diversificata su più giorni a Luglio

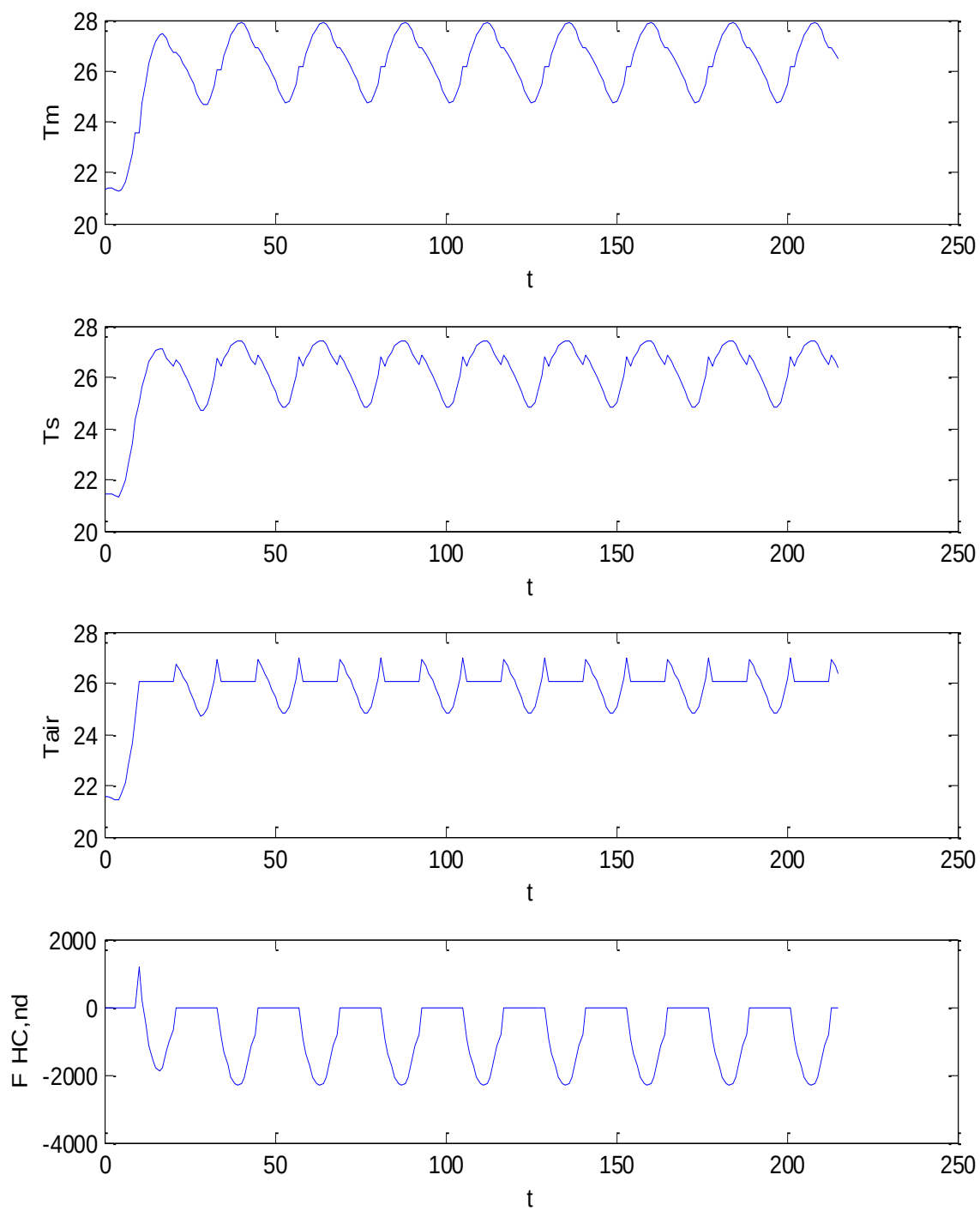


Figura 69: Risultati di calcolo del modello R5C1 conseguente all'input di più giorni a Luglio

5.4 SOLUZIONE PER MODALITÀ INVERSA

5.4.1 SOLUZIONE DEL MODELLO R5C1 DELLA UNI EN 13790 CON FLUSSO TERMICO, $F_{HC,nd}$, IMPOSTO

Si vuole ora sviluppare la soluzione per un ultimo caso che possiamo definire **indiretto**: si impone il flusso $F_{HC,nd}$ (che nello sviluppo è indicato I_{out}) alla rete e si calcolano le temperature interne dell'edificio, ora divenute tutte variabili dipendenti.

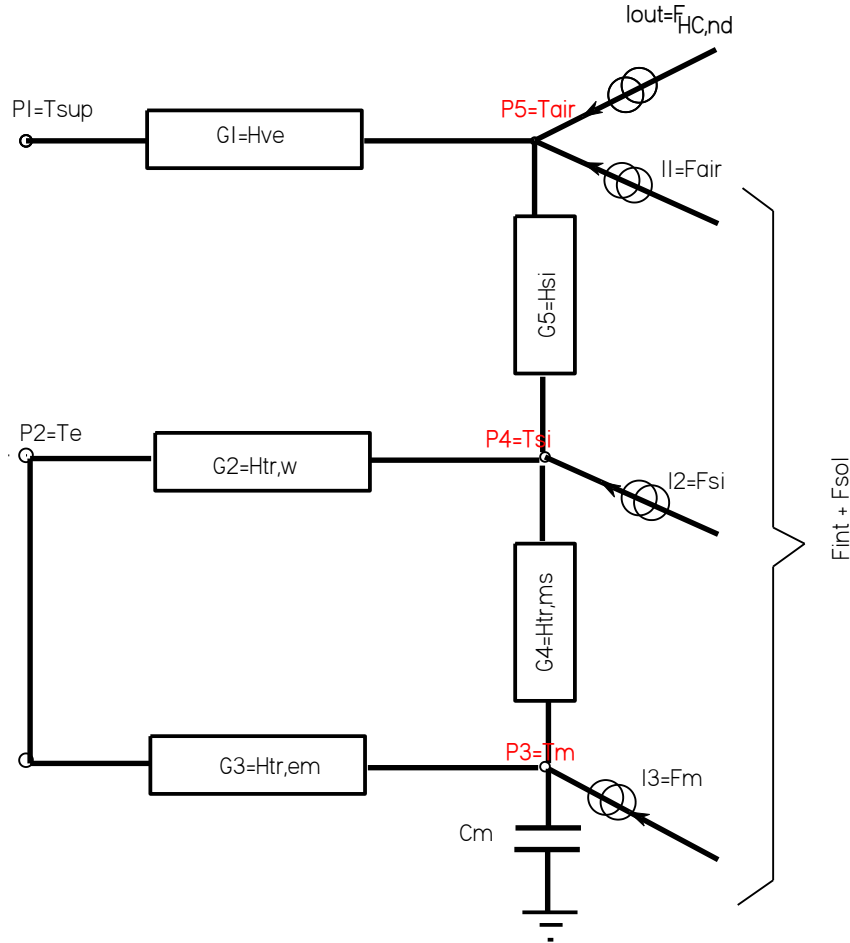


Figura 70: Modello R5C1 con $F_{HC,nd}$ imposto

Quest'ipotesi consente di calcolare tutte le temperature, T_{air} , T_{si} , T_m note le altre grandezze indicate in Figura 70. La temperatura dell'aria interna, T_{air} , non è più variabile indipendente.

Le equazioni di equilibrio ai nodi sono:

$$G_2(P_2 - P_4) + G_5(P_5 - P_4) + G_4(P_3 - P_4) + I_2 = 0$$

$$I_{out} + I_1 + G_5(P_4 - P_5) + G_1(P_1 - P_5) = 0$$

Con qualche passaggio algebrico si ha:

$$-(G_1 + G_5)P_5 + G_1P_1 + G_5P_4 + I_1 + I_{out} = 0$$

$$P_5 = \frac{I_1 + I_{out} + G_1P_1}{G_1 + G_5} + \frac{G_5}{G_1 + G_5}P_4$$

$$-(G_2 + G_4 + G_5)P_4 + G_5P_5 + G_2P_2 + G_4P_3 + I_2 = 0$$

Posto:

$$A = \frac{I_1 + I_{out} + G_1 P_1}{G_1 + G_5}$$

$$B = \frac{G_5}{G_1 + G_5}$$

Si ha:

$$(G_2 + G_4 + G_5 - BG_5)P_4 = G_5 A + G_2 P_2 + G_4 P_3 + I_2$$

Posto:

$$C_1 = \frac{G_5 A + G_2 P_2 + I_2}{G_2 + G_4 + G_5 - BG_5}$$

$$D = \frac{G_4}{G_2 + G_4 + G_5 - BG_5}$$

Si ottiene:

$$P_4 = C_1 + DP_3$$

$$P_5 = A + BP_4$$

Si può scrivere:

$$C \frac{dP_3}{dt} = I_3 + G_3 P_2 + G_4 P_4 - (G_3 + G_4) P_3$$

$$C \frac{dP_3}{dt} = I_3 + G_3 P_2 + G_4 C + G_4 DP_3 - (G_3 + G_4) P_3$$

ed infine:

$$\frac{dP_3}{dt} + \frac{G_3 + G_4 - G_4 D}{C} P_3 = \frac{I_3 + G_3 P_2 + G_4 C_1}{C}$$

che è l'equazione differenziale del primo ordine in P_3 .

Si osservi che, per effetto della possibile variabilità di $G_1 = H_{ve}$ per gli impianti di VMC a portata variabile, si ha un'equazione del primo ordine non omogenea in genere a coefficienti variabili.

L'equazione differenziale è del tipo:

$$\frac{dP_3}{dt} = k(t) - at$$

La soluzione è:

$$P_3(t) = \int_1^t (k(\xi) - a\xi) d\xi + k_1$$

5.4.2 METODO DI HEUN PER EVOLUZIONE A FLUSSO TERMICO IMPOSTO

Vale l'impostazione generale del metodo di Heun indicata in precedenza. In questo caso si ha:

$$F(t, P_3(t)) = -\lambda(t) P_3(t) + g(t)$$

con:

$$\lambda = \frac{G_3 + G_4 - G_4 D}{C}$$

$$g = \frac{I_3 + G_3 P_2 + G_4 C_1}{C}$$

ove D e C₁ sono stati definiti in precedenza.

La relazione iterativa è allora la seguente:

$$P_3(t_{n+1}) = P_3(t_n) + \frac{T}{2} \left[g(t_{n+1}) + g(t_n) \left(1 - \lambda(t_{n+1})T - P_3(t_n) \left(\lambda(t_{n+1}) - T \lambda(t_n) \lambda(t_{n+1}) \right) \right) \right]$$

Anche in questo caso si è utilizzato *Matlab*® per la soluzione analitica.

5.4.3 PARTICOLARITÀ DEL MODELLO A FLUSSO TERMICO IMPOSTO

La soluzione sopra descritta non è compatibile con l'evoluzione mista vista in precedenza. In definitiva, quando si fornisce calore all'edificio, tramite un impianto di climatizzazione, la temperatura dell'aria interna, T_{air}, è variabile dipendente determinata dalla soluzione delle equazioni di equilibrio.

Sono possibili solo due tipi di evoluzioni:

- Viene imposto il flusso di calore e quindi si calcola T_{air}
- Il flusso di calore imposto è nullo e allora si ha l'evoluzione libera.

Durante la cessione del flusso termico al modello non si può avere anche il vincolo della temperatura interna imposta. Restano possibili tutte le altre possibilità che si vedranno nel prosieguo: *Ventilazione Meccanica Controllata (VMC)*, portata di ventilazione variabile, *multi room*.

Le caratteristiche qui indicate impongono l'utilizzo del modello a flusso imposto separatamente dal modello analizzato per le altre condizioni. Per sicurezza operativa sia le routine di calcolo che i file accessori sono diversi e separati⁴⁰ da quelle viste in precedenza per il calcolo diretto. Il modello a flusso imposto è utile per verificare la funzionalità degli impianti e, a posteriori, determinare le condizioni interne di un edificio noto il consumo energetico. Accoppiato al *multi room* questo modello a flusso imposto può essere utilizzato per la verifica degli impianti e dei terminali per ciascun ambiente. Considerata la possibilità di definire i valori orari dei vettori di ingresso è possibile analizzare in dettaglio qualsiasi interazione *edificio – impianti*.

Caso Esempio con Flusso Termico imposto a gradino

Allo scopo di verificare la soluzione per flusso termico imposto si considera sempre l'edificio a quattro ambienti a Catania, nel mese di Giugno, e si suppone di mantenere la temperatura esterna al valore costante di 18 °C e di imporre un gradino del flusso termico di – 1000 W prolungato nel tempo. In Figura 72 si hanno i vettori di input al modello e in Figura 73 si hanno i vettori di calcolo. E' visibile il gradino del flusso termico imposto. In Figura 73 si ha il particolare della T_{air} in risposta al gradino di flusso termico. E' chiaramente visibile il transitorio termico di tipo esponenziale (anche se il modello non è un RC semplice ma a 5 resistenza ed una capacità).

⁴⁰ Dato che *Matlab*® vuole tutte le routine e i dati nella stessa directory, è bene avere una directory di lavoro per la modalità inversa diversa da quella della modalità diretta.

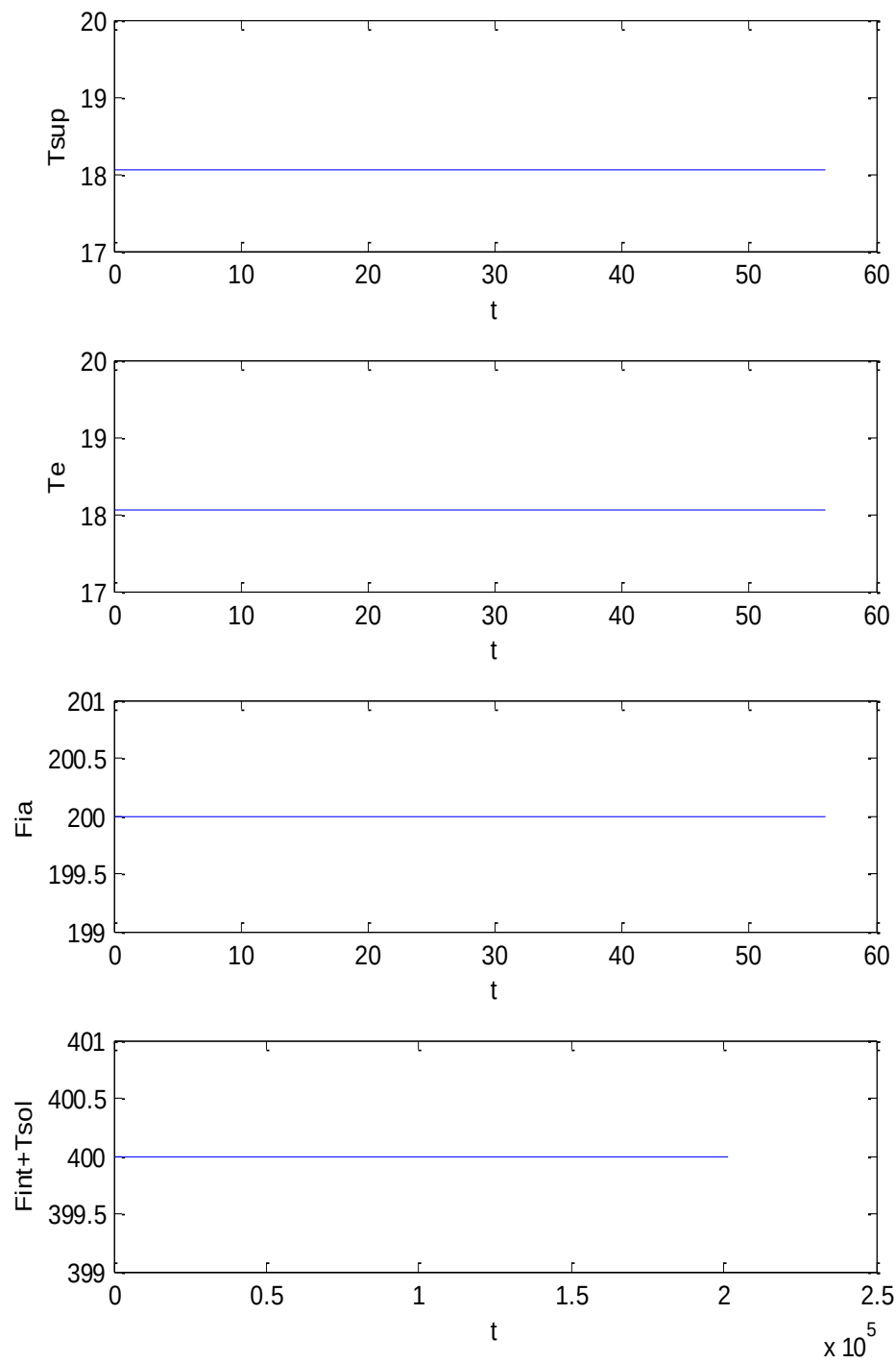


Figura 71: Vettori di input per gradino di flusso termico imposto

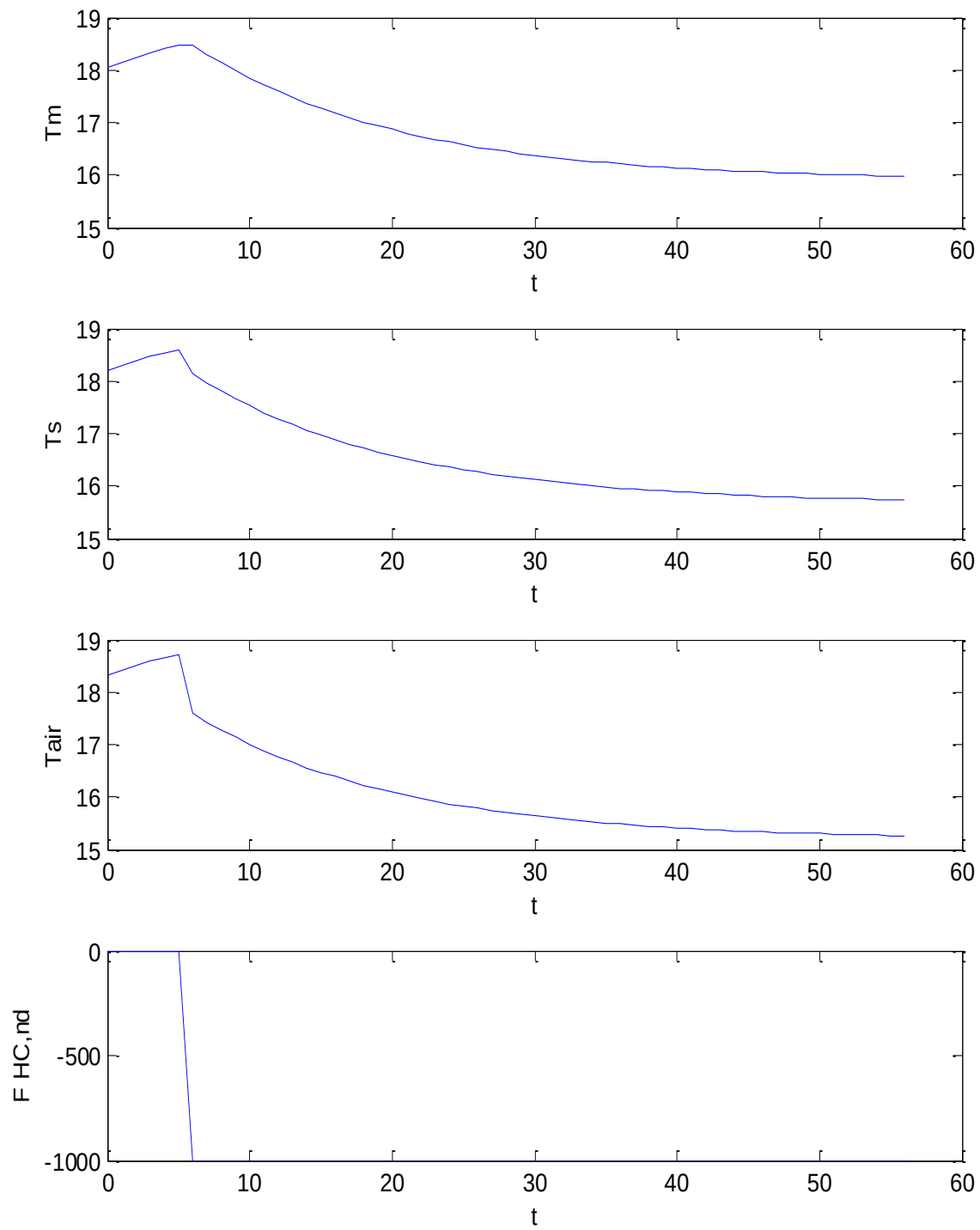


Figura 72: Vettori calcolati per gradino di flusso termico imposto

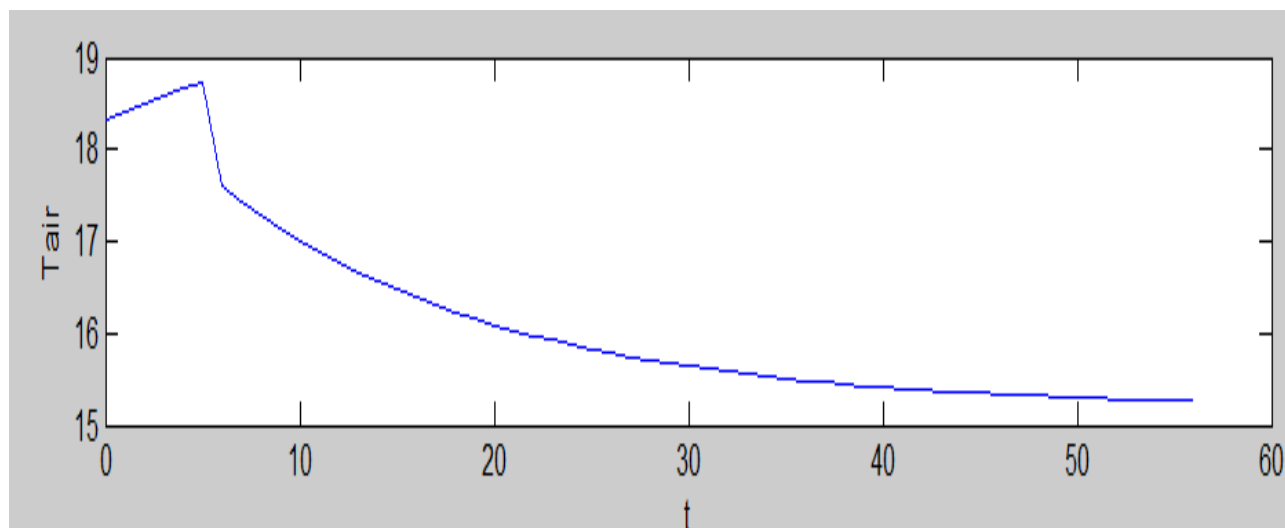


Figura 73: Particolare della T_{air} per flusso termico imposto a gradino

Si supponga ora di modificare la temperatura dell'aria esterna portandola a 30 °C e con un flusso termico a gradino di -1000 W.

In Figura 74 si hanno i vettori calcolati per $T_{est} = 30$ °C e in Figura 75 si ha il particolare della T_{air} che ora tende al valore asintotico di 27.3 °C mentre prima era 15.3 °C.

Quest'esempio mostra l'influenza della temperatura esterna nel transitorio termico.

Infine si supponga di avere la $T_{est} = 18$ °C, Giugno, e di esaminare una successione di sette giorni con gradini di flusso termico imposto pari a -1000 W.

In Figura 76 si hanno i vettori di calcolo che comprendono anche la sequenza di gradini di flusso termico imposto.

In Figura 77 si ha il particolare della T_{air} corrispondente alla sequenza dei gradini di flusso. E' possibile osservare il tipico andamento simil esponenziale della temperatura dell'aria interna.

Infine si è ripetuto il calcolo nelle stesse condizioni di flusso imposto a gradino per sette giorni ma con temperatura esterna costante di 30 °C.

In Figura 79 si hanno i vettori di calcolo e in Figura 78 si ha il particolare dell'andamento della temperatura esterna corrispondente alla sequenza di sette giorni con flusso termico imposto a gradino.

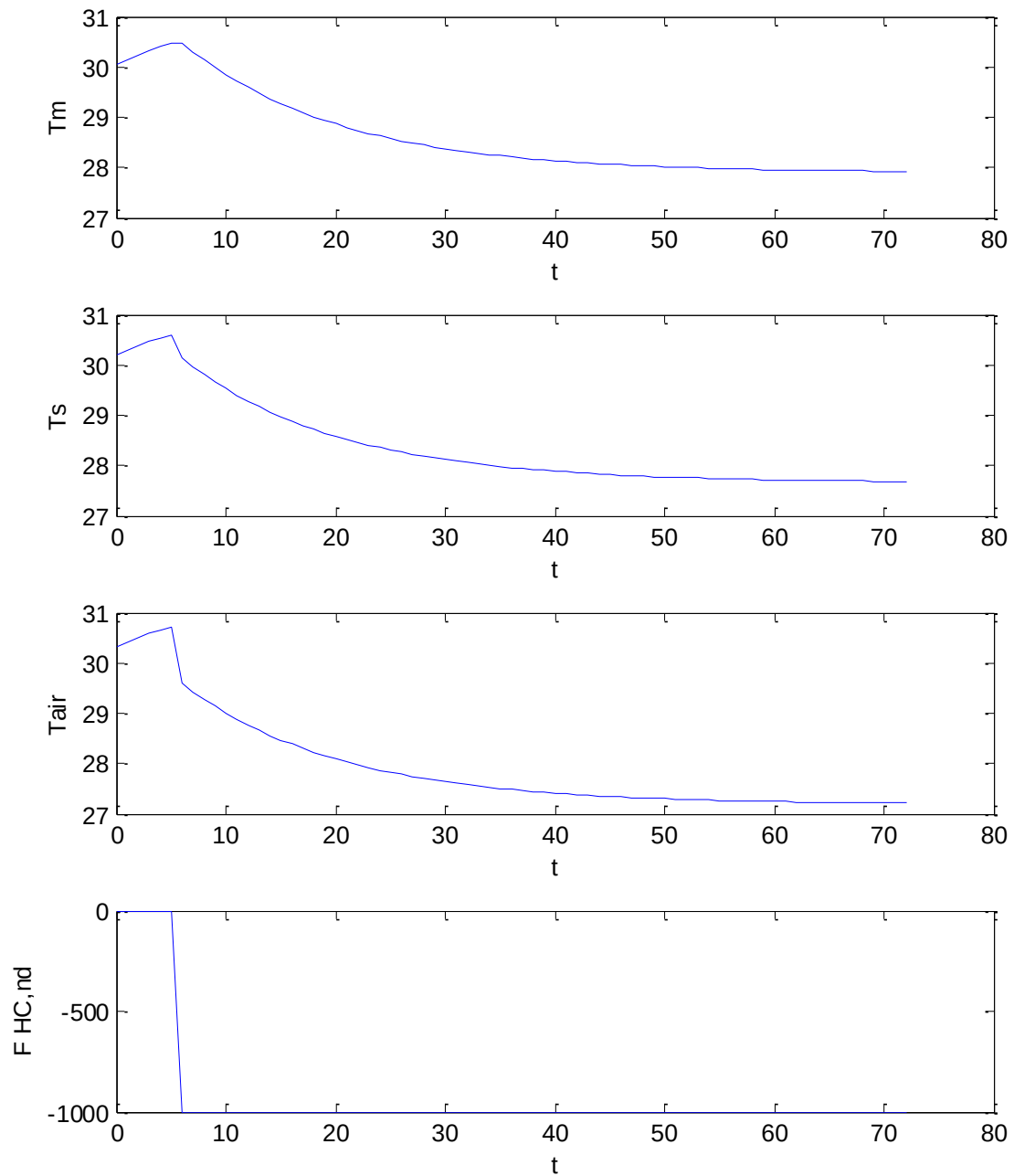


Figura 74: Vettori di calcolo per risposta al gradino del flusso termico e $T_{est}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$

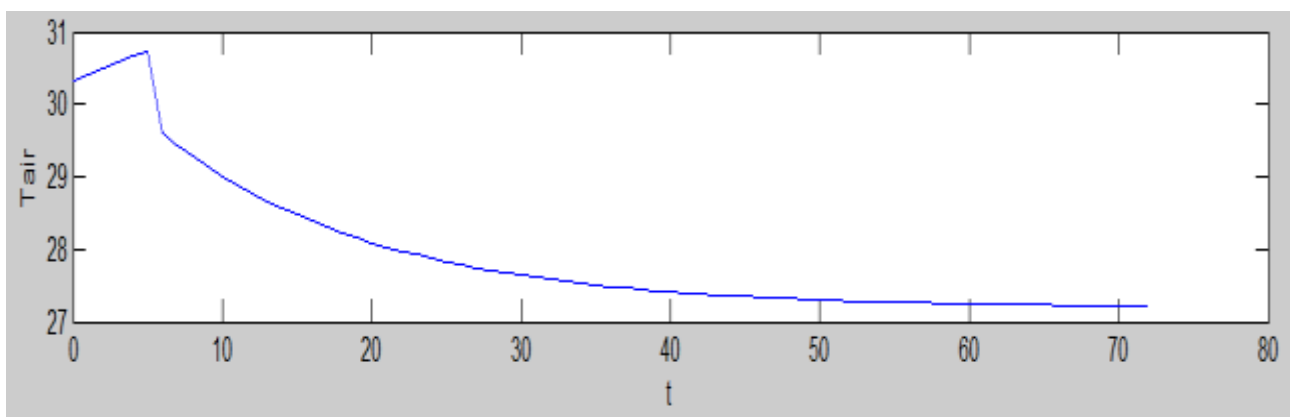


Figura 75: Particolare della risposta al gradino del flusso termico con $T_{est}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$

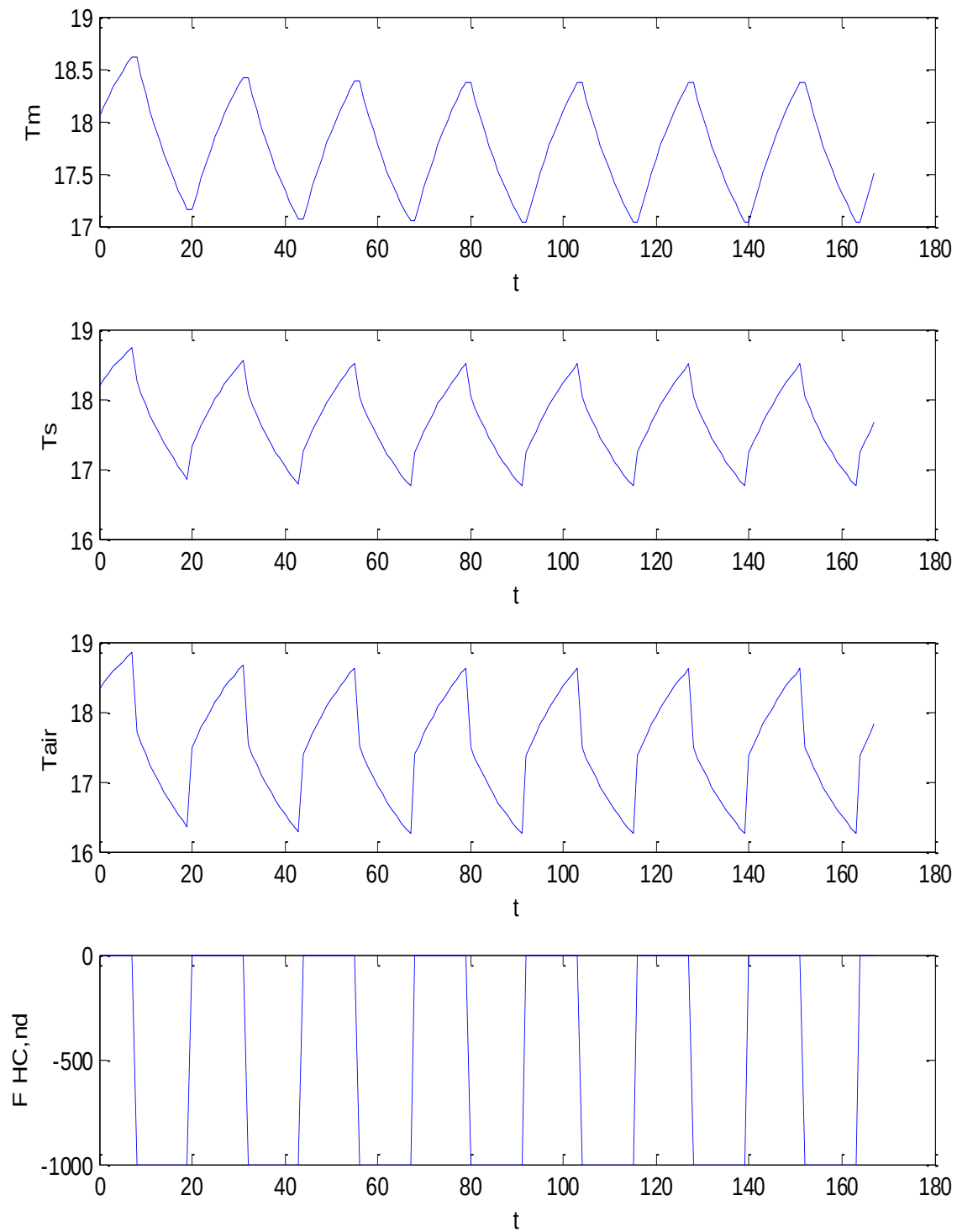


Figura 76: Vettori di calcolo per una successione di sette giorni con flusso termico a gradino

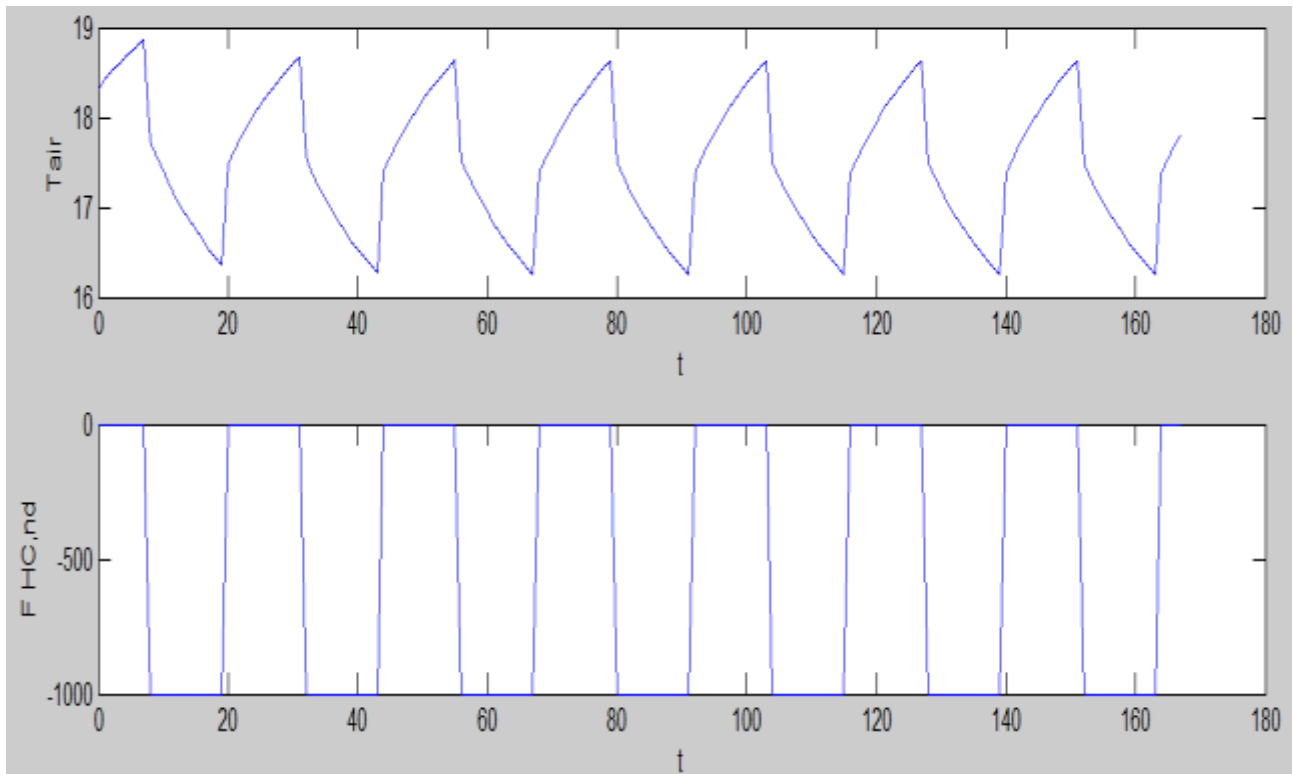


Figura 77: Particolare di T_{air} per sette giorni con flusso termico imposto a gradino

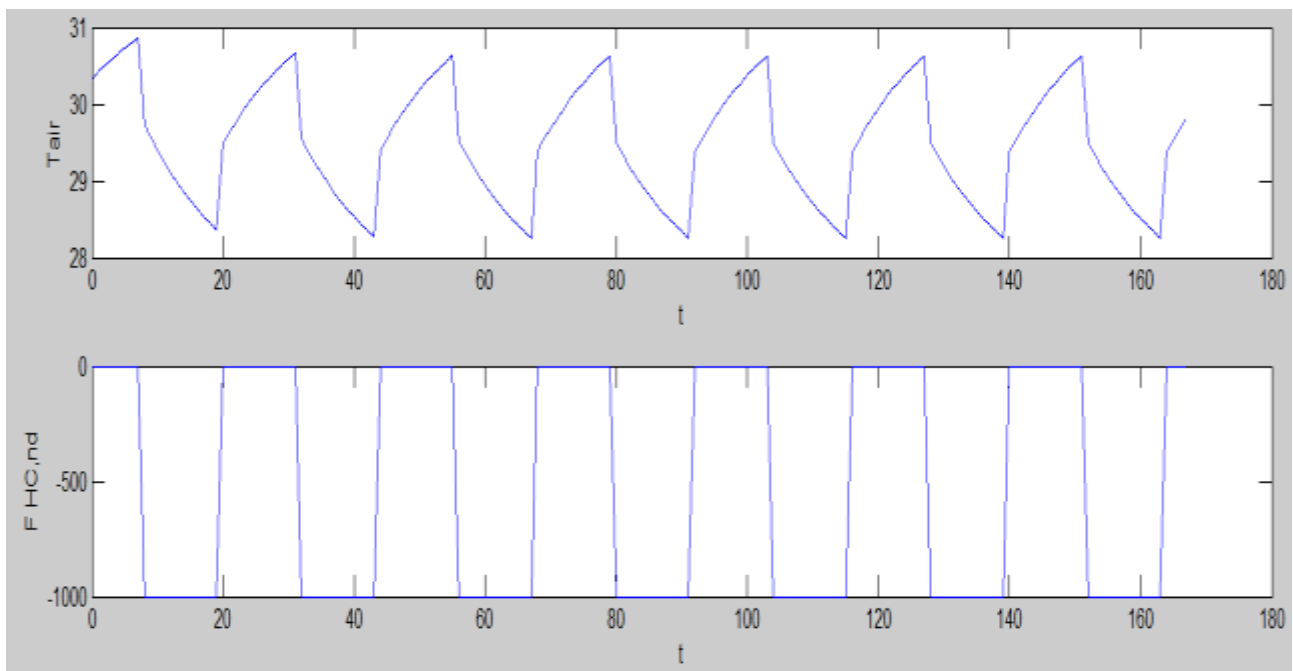


Figura 78: Particolare di T_{air} per sette giorni con flusso termico imposto a gradino e $T_{est} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

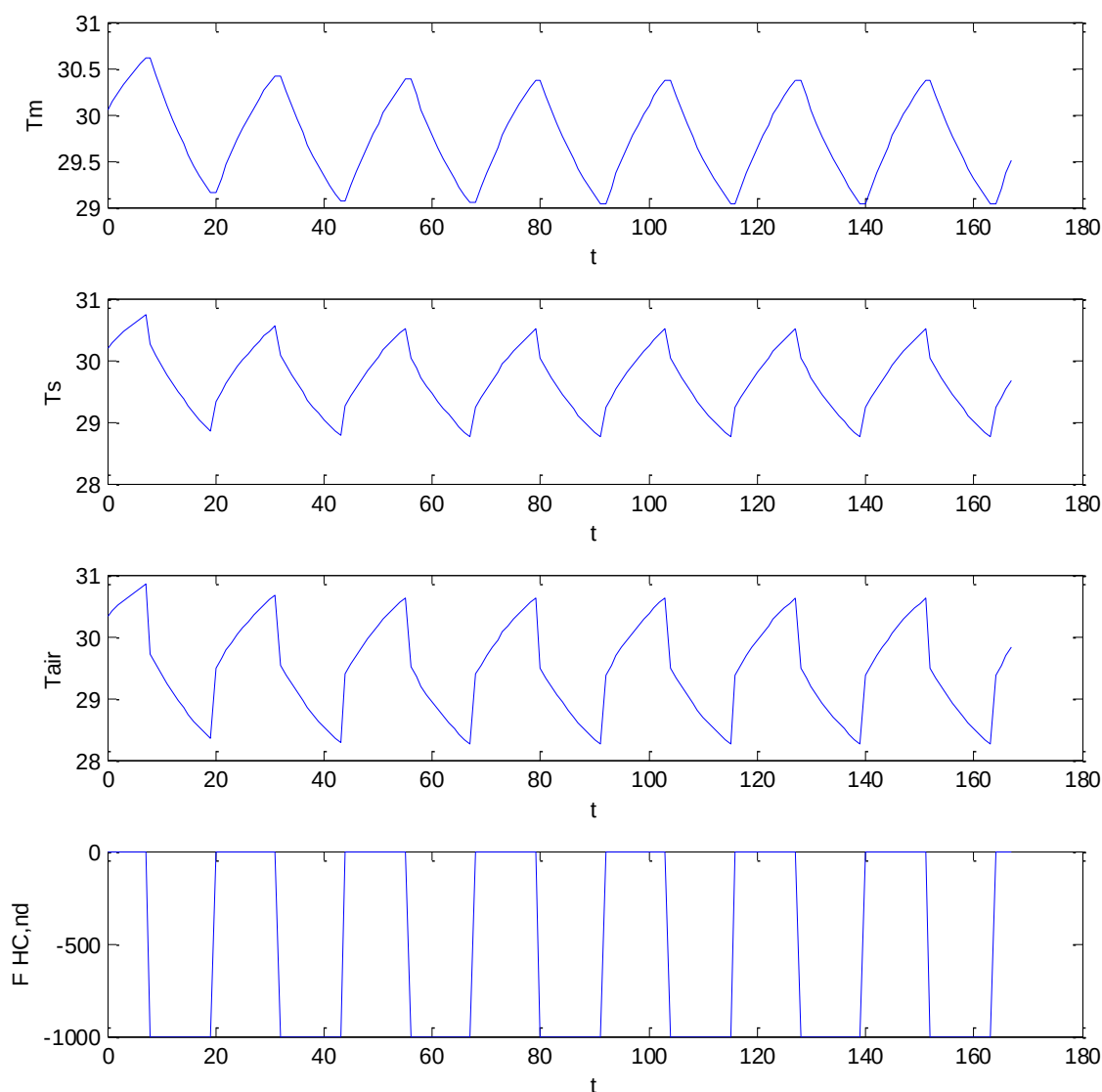


Figura 79: Vettori di calcolo per sequenza di sette giorni con $T_{est} = 30\text{ °C}$ e gradini di flusso termico imposto

Caso Esempio con Flusso Termico imposto – Gennaio

Si consideri l'esempio di un edificio a quattro ambienti, già visto in precedenza, per il mese di Gennaio a Catania.

I dati di input sono indicati in Tabella 17 e in Tabella 18 si hanno i vettori di input al modello. Si osservi come la colonna 3 non è più occupata da P_3 (cioè dalla temperatura ambiente imposta) ma da flusso $F_{HC,nd}$ posto pari a 2000 W nel periodo di funzionamento dell'impianto.

In pratica si suppone che la regolazione non sia efficiente e tale da garantire un perfetto controllo del generatore termico.

G1=Hve	40,00
G2=Hw	48,92
G3=ht,em	173,87
G4=Ht,ms	1962,00
G5=Ht,is	1462,11
C	13.200.000
T	3600
Am	200,00
At	423,80

Tabella 17: Dati di input per Flusso Termico imposto a Gennaio

In Figura 80 si ha la visualizzazione dei vettori di input al modello e in Figura 81 si hanno i vettori calcolati.

Durante il periodo di spegnimento dell'impianto si ha l'evoluzione libera mentre durante l'accensione dell'impianto con flusso termico imposto la temperatura interna, T_{air} , evolve in risposta alla forzante.

I valori della temperatura interna raggiunge i 14.5 °C dopo le 15, con un flusso termico di 1000 W.

Se ripetiamo il calcolo con flusso imposto pari a 2000 W si ottengono i risultati di Figura 82

Quest'esempio dimostra come l'algoritmo di risoluzione descritto sia simmetrico rispetto al caso di evoluzione mista: ora forniamo un flusso termico e si calcola la temperatura dell'aria interna che è possibile raggiungere.

281,1	281,1	0,0	200	98,33
280,8	280,8	0,0	200	98,33
280,5	280,5	0,0	200	98,33
280,3	280,3	0,0	200	98,33
280,2	280,2	0,0	200	98,33
280,1	280,1	0,0	200	98,33
280,2	280,2	1000,0	200	98,33
280,9	280,9	1000,0	200	278,36
282,1	282,1	1000,0	200	770,39
283,6	283,6	1000,0	200	1022,16
284,8	284,8	1000,0	200	1256,12
285,9	285,9	1000,0	200	1310,36
287,1	287,1	1000,0	200	1458,89
287,5	287,5	1000,0	200	1567,17
287,4	287,4	1000,0	200	1425,07
287,0	287,0	1000,0	200	1130,09
286,2	286,2	1000,0	200	603,70
285,1	285,1	1000,0	200	98,33
283,5	283,5	1000,0	200	98,33
282,8	282,8	1000,0	200	98,33
282,3	282,3	1000,0	200	98,33
282,0	282,0	0,0	200	98,33
281,5	281,5	0,0	200	98,33
281,1	281,1	0,0	200	98,33

Tabella 18: Vettori di input per Flusso Termico forzato a Gennaio

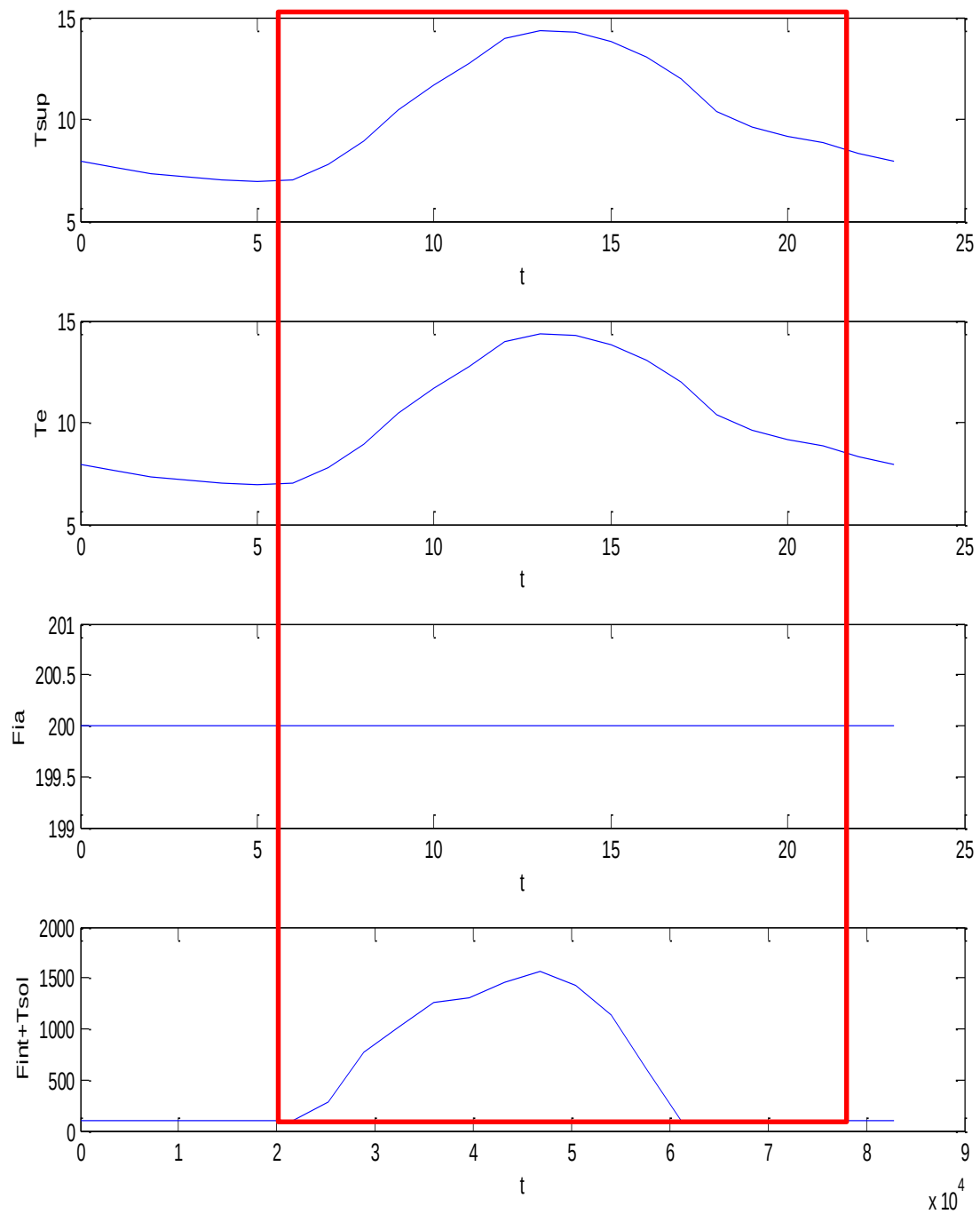


Figura 80: Vettori di input per Flusso termico imposto a Gennaio

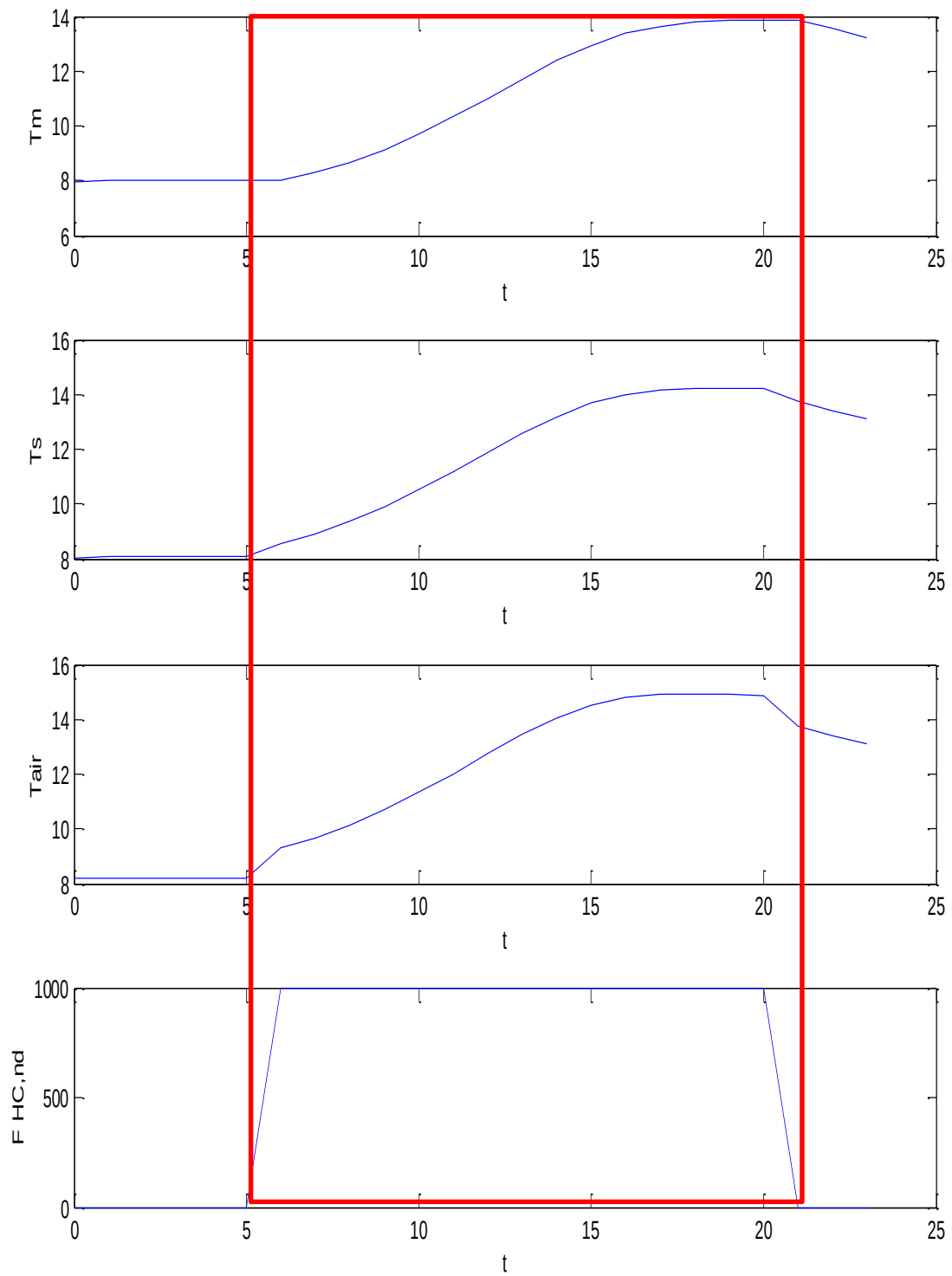


Figura 81: Vettori di output per Flusso termico imposto a Gennaio

P1	P2	FHC,nd	I1	Ft
T-sup	Te (K)	Iout (W)	Fi.ia	Fint+Fsol
281,1	281,1	0,0	200	98,33
280,8	280,8	0,0	200	98,33
280,5	280,5	0,0	200	98,33
280,3	280,3	0,0	200	98,33
280,2	280,2	0,0	200	98,33
280,1	280,1	0,0	200	98,33
280,2	280,2	2000,0	200	98,33
280,9	280,9	2000,0	200	278,36
282,1	282,1	2000,0	200	770,39
283,6	283,6	2000,0	200	1022,16
284,8	284,8	2000,0	200	1256,12
285,9	285,9	2000,0	200	1310,36
287,1	287,1	2000,0	200	1458,89
287,5	287,5	2000,0	200	1567,17
287,4	287,4	2000,0	200	1425,07
287,0	287,0	2000,0	200	1130,09
286,2	286,2	2000,0	200	603,70
285,1	285,1	2000,0	200	98,33
283,5	283,5	2000,0	200	98,33
282,8	282,8	2000,0	200	98,33
282,3	282,3	2000,0	200	98,33
282,0	282,0	0,0	200	98,33
281,5	281,5	0,0	200	98,33
281,1	281,1	0,0	200	98,33

Tabella 19: Vettori di input con flusso termico imposto di 2 kW

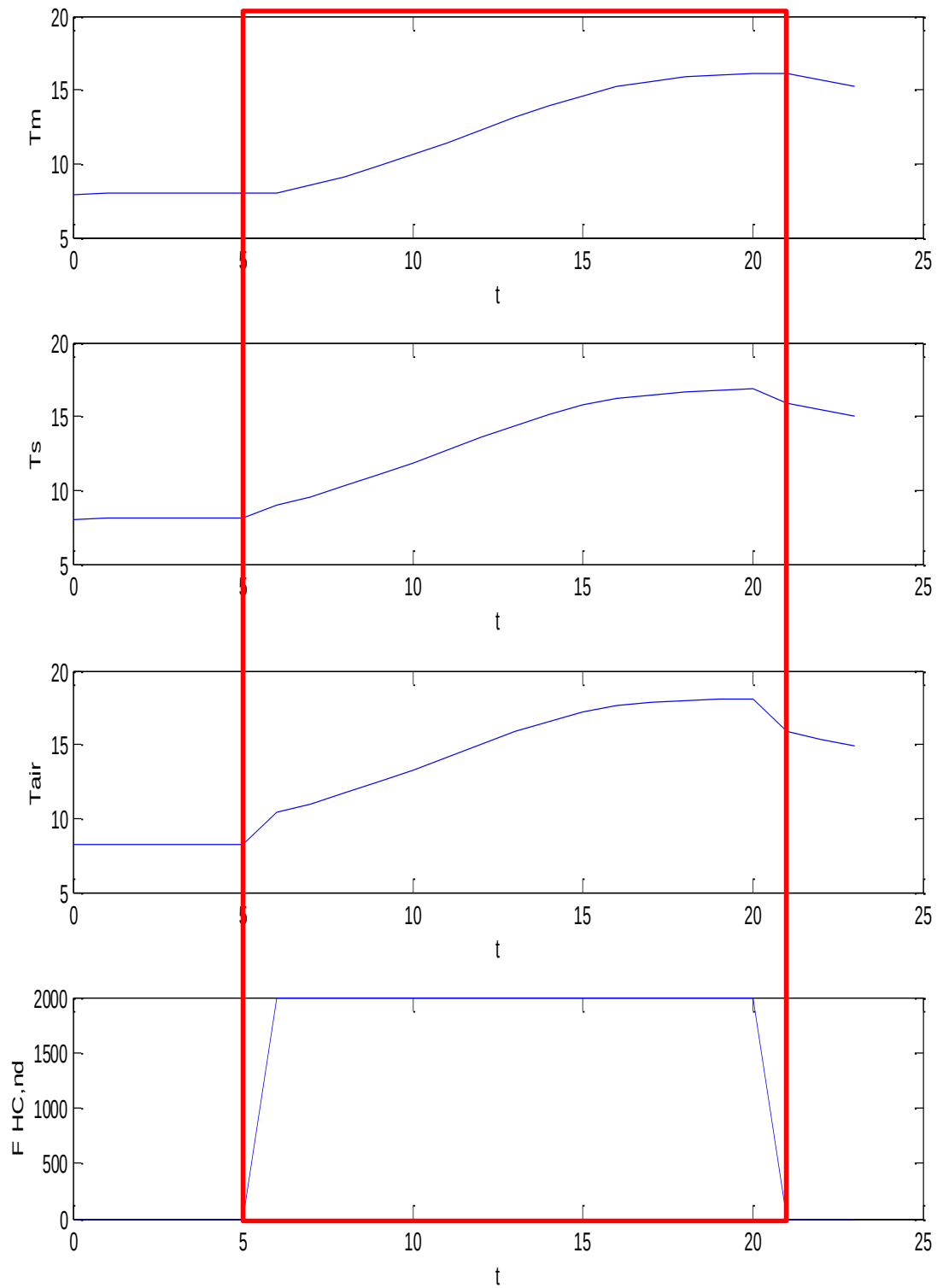


Figura 82: Evoluzione con flusso termico imposto di 2 kW a gennaio

Caso di Flusso Termico imposto variabile

E' possibile avere un flusso termico variabile. Ad esempio se i vettori di input sono quelli di Figura 81 allora i risultati del calcolo sono dati in Figura 83 e si può osservare come, ponendo nelle prima parte dell'accensione dell'impianto, $F = 3000 \text{ W}$ la temperatura interna dell'aria aumenta.

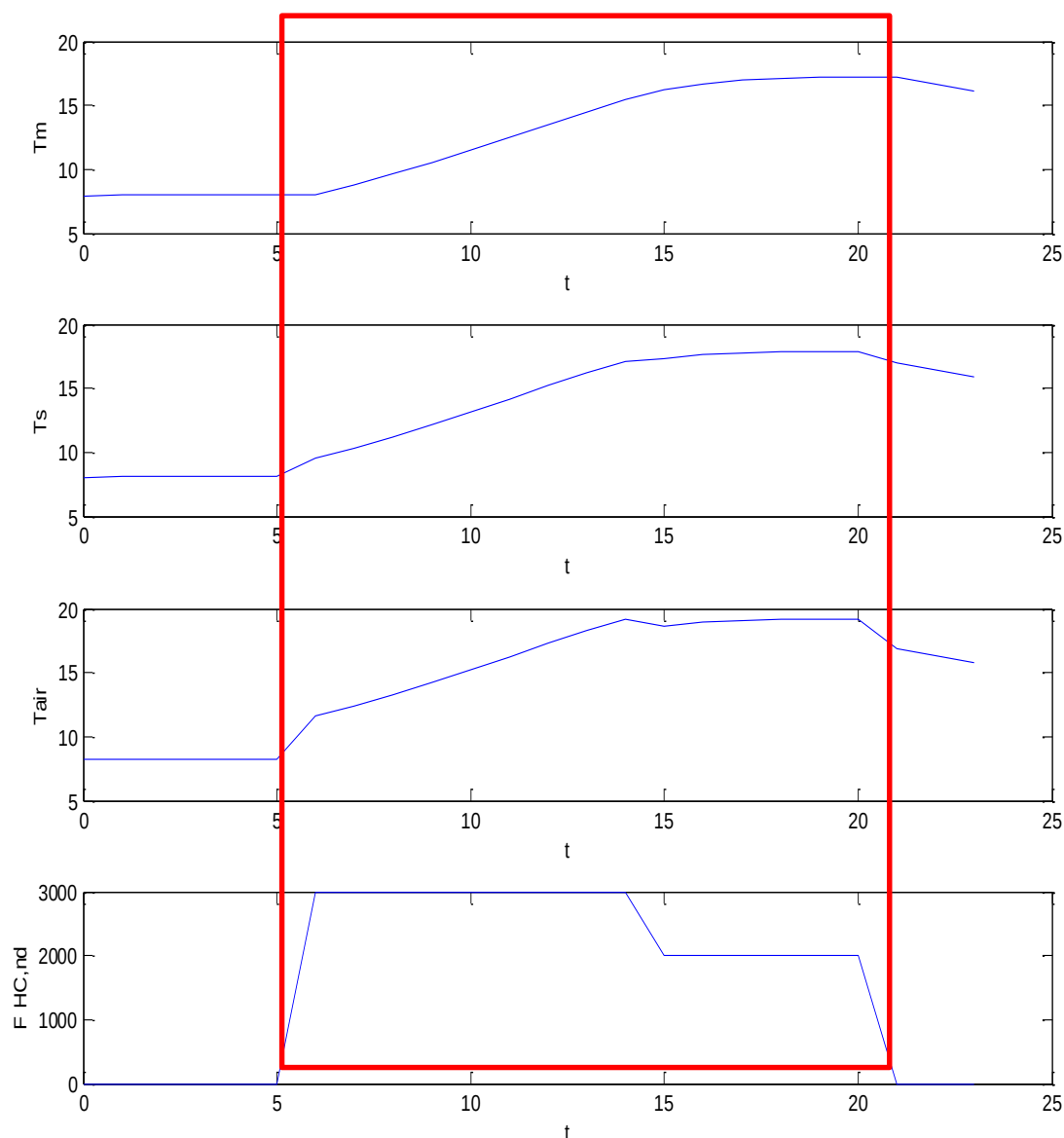


Figura 83: Risultati di calcolo per Flusso termico non costante a Gennaio

Caso Esempio con Flusso Termico imposto – Giugno

Sempre per lo stesso edificio si considera il caso estivo, mese di Giugno, I dati delle conduttanze e capacità sono gli stessi del caso precedente. Il vettore degli ingressi è dato in Tabella 20 mentre i vettori di ingresso sono rappresentati in Figura 84.

In Figura 85 si hanno i risultati del calcolo per il mese di giugno a Catania. Si possono osservare gli effetti del raffreddamento sull'aria interna.

P1	P2	FHC,nd	I1	Ft
T-sup	Te (K)	Iout (W)	Fi.ia	Fint+Fsol
291,7	291,7	0,0	200	98,33
291,4	291,4	0,0	200	98,33
291,0	291,0	0,0	200	98,33
290,7	290,7	0,0	200	98,33
291,2	291,2	0,0	200	99,66
292,1	292,1	0,0	200	1665,40
293,4	293,4	-1000,0	200	2409,42
294,8	294,8	-1000,0	200	3068,84
296,6	296,6	-1000,0	200	3736,70
298,6	298,6	-1000,0	200	3754,23
299,3	299,3	-1000,0	200	4072,89
299,4	299,4	-1000,0	200	3947,52
299,0	299,0	-1000,0	200	4328,97
298,8	298,8	-1000,0	200	4758,94
298,6	298,6	-1000,0	200	4619,91
298,3	298,3	-1000,0	200	4296,18
297,8	297,8	-1000,0	200	3957,52
297,1	297,1	-1000,0	200	3147,37
296,3	296,3	-1000,0	200	126,18
295,4	295,4	-1000,0	200	99,66
294,5	294,5	-1000,0	200	98,33
293,4	293,4	0,0	200	98,33
292,7	292,7	0,0	200	98,33
292,2	292,2	0,0	200	98,33

Tabella 20: Vettori degli ingressi con Flusso imposto a Giugno

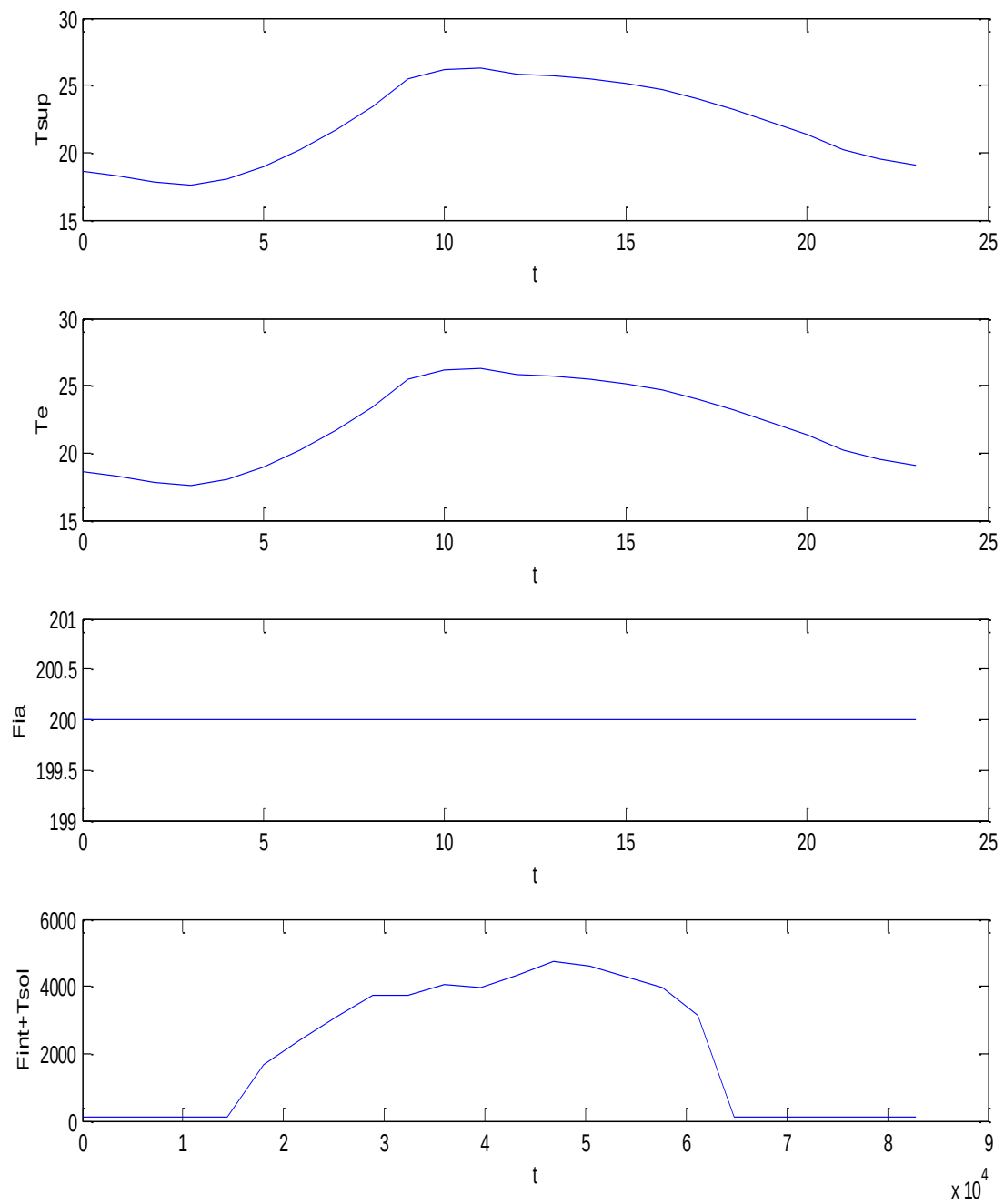


Figura 84: Vettori di input per Flusso forzato a Giugno

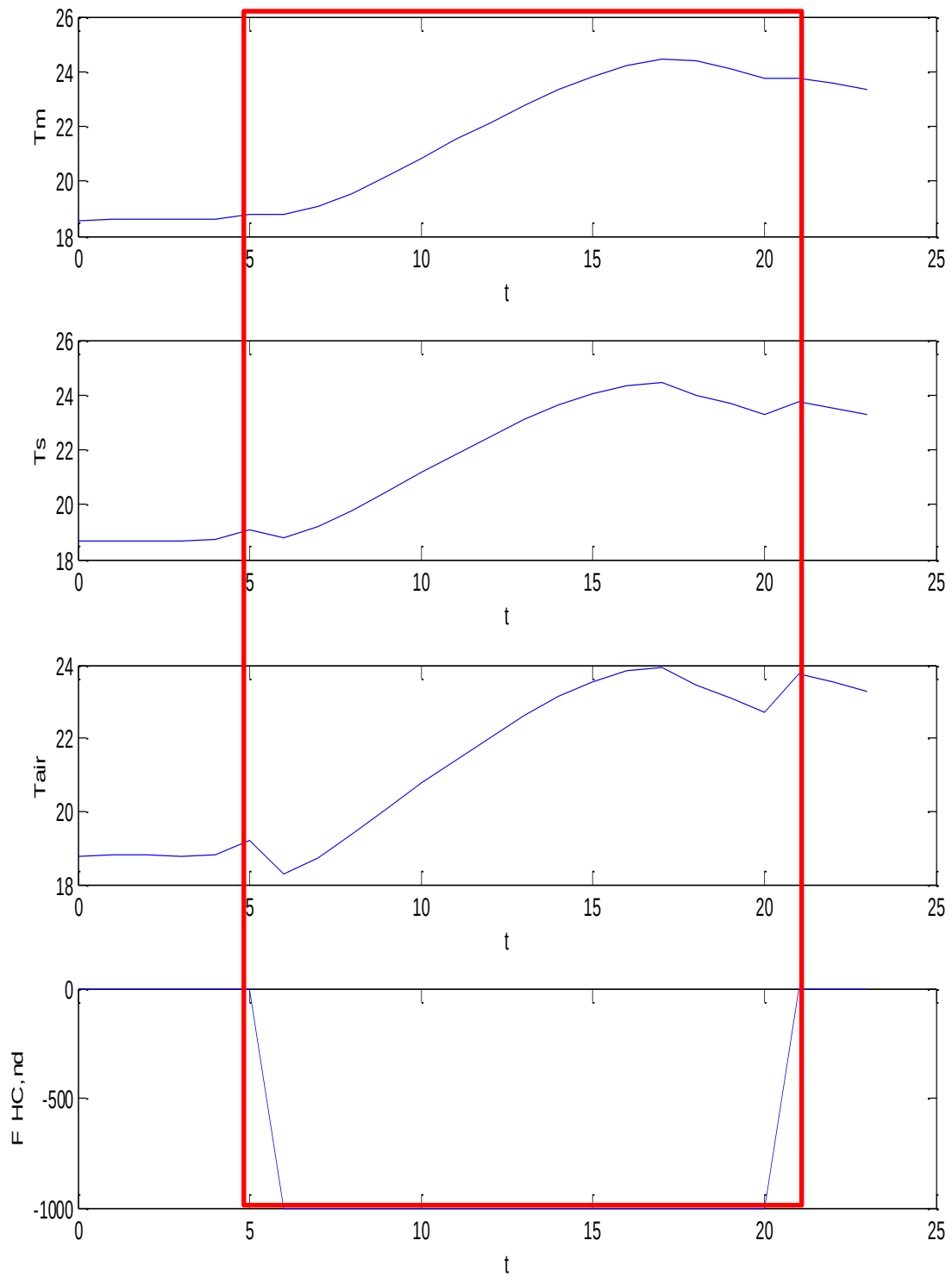


Figura 85: Vettori di calcolo per Flusso forzato a Giugno

5.5 RIEPILOGO DELLE MODALITÀ DI CALCOLO DEL MODELLO R5C1

Il modello *R5C1* può essere risolto secondo varie ipotesi di calcolo che qui si sintetizzano.

5.5.1 MODALITÀ DIRETTA AD EVOLUZIONE LIBERA

In questo caso l'input è costituito dalle cinque conduttanze, la capacità termica, il passo di calcolo⁴¹ e i quattro vettori di ingresso dianzi discussi. L'evoluzione libera è caratterizzata dall'essere il flusso scambiato nullo, cioè $F_{HC,nd}=0$.

L'output è dato dalle temperature T_{air} , T_s , T_m e dal flusso $F_{HC,nd}$ che è pari a zero..

5.5.2 MODALITÀ DIRETTA A TEMPERATURA INTERNA IMPOSTA

L'input è costituito, come sopra, dalle cinque conduttanze, la capacità termica, il passo di calcolo e i vettori di ingresso nei quali la terza colonna è il valore imposto della temperatura interna, T_{air} .

L'output è costituito ancora da T_{air} , T_s , T_m ed il flusso $F_{HC,nd}$.

Chiaramente T_{air} è dato in uscita per controllo.

5.5.3 MODALITÀ DIRETTA MISTA

In questo caso vale quanto detto per il caso precedente. Nel vettore di ingresso (terza colonna) se $T_{air}=0$ allora il programma risolve il modello in modalità libera mentre se $T_{air} \neq 0$ lo risolve in modalità a temperatura interna imposta.

I dati di output sono sempre T_{air} , T_s , T_m ed il flusso $F_{HC,nd}$.

5.5.4 FUNZIONALITÀ AGGIUNTIVE ALLA MODALITÀ DIRETTA MISTA

Oltre alla soluzione diretta nella modalità mista sono state aggiunte alcune modalità per tenere conto della funzionalità degli impianti. Queste modalità saranno discusse in dettaglio nel prosieguo. Se ne indicano le funzionalità allo scopo di completare il quadro operativo della soluzione del modello *R5C1*.

Modalità con VMC a portata costante

In questo caso il vettore di ingresso, prima colonna, contiene la temperatura dell'aria di ventilazione, T_{sup} , che non è più eguale alla temperatura dell'aria esterna, T_{est} , ma può essere fissata in base al recuperatore di calore o dal valore di uscita di un'UTA.

Il regime di funzionamento è misto e quindi comprende sia l'evoluzione libera che quella a temperatura interna fissata.

I dati di output sono sempre T_{air} , T_{si} , T_m ed il flusso $F_{HC,nd}$.

Modalità con VMC a portata variabile

La portata dell'aria entra nella definizione della conduttanza H_{ve} e pertanto si pone $G_1=H_{ve}=0$ nei dati di input delle conduttanze. Gli altri quattro valori restano invariati, così pure la capacità termica e gli altri parametri.

⁴¹ Malgrado si sia sempre parlato di soluzione oraria è possibile utilizzare anche altri passi di calcolo, preferibilmente di durata inferiore all'ora. Così, ad esempio, si possono utilizzare passi di 900, 1800, 2700 e 3600 secondi. Questa possibilità risulta comoda per adeguare il modello ai passi temporali dei data base internazionali relativi alla temperatura esterna e all'irraggiamento solare.

Nel vettore di ingresso si ha una sesta colonna che riporta, ora per ora, il valore di $G_1=H_{ve}$.
I dati di output sono sempre T_{air} , T_{si} , T_m ed il flusso $F_{HC, nd}$.

Modalità *Multi Room*

Questa modalità, qui proposta ma non sviluppata in modo automatico con il software, consente di applicare il modello *R5C1* ai singoli ambienti, anziché all'edificio nel suo complesso.

Quest'ipotesi è valida se si trascurano i modesti effetti di transitorio termico delle pareti divisorie fra gli ambienti nel periodo del passo di calcolo.

L'input è del tipo visto per il regime misto e le sue aggiunte impiantistiche ma è effettuato per ciascun ambiente.

L'output è sempre T_{air} , T_{si} , T_m ed il flusso $F_{HC, nd}$. Per ciascun ambiente.

Modalità di calcolo con più sequenze giornaliere

Tutte le modalità di calcolo sopra indicate possono funzionare con un input dei vettori di ingresso predisposto per sequenze di più giorni, oltre che di più ore.

In particolare per i dati esterni di temperatura ed irraggiamento si può utilizzare il *Test Reference Year (TRY)* che consente di effettuare simulazioni complete stagionali e/o annuali.

5.5.5 MODALITÀ INVERSA A FLUSSO TERMICO IMPOSTO

In questo caso oltre alle conduttanze e alla capacità termica occorre fornire i vettori di input con la terza colonna occupata dai valori del flusso termico che si intende cedere all'edificio (con proprio segno per tenere conto della stagionalità).

Manca, di conseguenza, il vettore della temperatura dell'aria interna, $P_3=T_{air}$, sostituito da $F_{HC, nd}$.

L'output è sempre T_{air} , T_{si} , T_m ed il flusso $F_{HC, nd}$, che viene ripetuto per controllo.

5.5.6 OSSERVAZIONE SULL'UTILIZZO DEI PROFILI D'USO

Una caratteristica utile del metodo di risoluzione orario qui proposto è che la variabile tempo è sempre presente nei dati di input (sequenza orarie giornaliere o di più giorni). Di conseguenza i vettori di input possono essere personalizzati, per ciascun passo di calcolo, per tenere conto dei profili d'uso.

In particolare si hanno i seguenti casi.

Profilo d'uso interno

I vettori di ingresso F_t e F_{ia} dipendono dalle sorgenti interne (affollamento, ACS, recuperi energetici di vario genere, Illuminazione) e dal flusso solare.

Le sorgenti interne possono avere qualunque personalizzazione oraria si desideri e quindi è possibile pianificare l'occupazione interna dei locali in orari stabiliti, l'accensione delle lampade in determinate ore del giorno ed altro ancora.

Il flusso solare può essere personalizzato per tenere conto di schermi esterni, filtri solari o qualunque altra correzione si desideri effettuare.

Profilo d'uso degli impianti

Il funzionamento degli impianti (accensione e spegnimento) e/o la presenza della VMC a portata costante o variabile è caratterizzato dai vettori di ingresso relativi a T_{air} , T_{sup} e H_{ve} , come sopra detto.

Dalle combinazioni di queste modalità di calcolo deriva una grande flessibilità del modello per tenere conto del funzionamento degli impianti meccanici presenti.

La modalità di calcolo a flusso termico imposto fornisce anche la possibilità di verifica sia dei consumi energetici che della funzionalità degli impianti, in special modo quando si utilizza la modalità *multi room*.

Funzionamento del Modello con Flusso Termico Imposto

Solitamente i calcoli dei consumi energetici degli edifici vengono effettuati supponendo valide alcune ipotesi quali $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ in inverno, impianto sempre funzionante, ricambi orari dell'aria di ventilazione pari a quelli indicati dalle norme.

Nella realtà questo comportamento virtuoso non è presente nella grande maggioranza dei casi, soprattutto negli edifici pubblici.

La possibilità di calcolare la T_a imponendo un flusso termico giornaliero pari a quello corrispondente ai dati rilevati consente di verificare il rispetto delle ipotesi di calcolo ed eventualmente cambiarle per avere calcoli più veritieri.

5.5.7 UTILIZZO DEL MODELLO R5C1 PER IL CONTROLLO PREDITTIVO

Un modello semplificato come quello sopra descritto consente di conoscere la sua evoluzione in tempi molto rapidi e tali da consentirne l'utilizzo anche in sistemi di controllo di tipo predittivo, vedi Figura 90.

Avere la possibilità di simulare l'edificio con un modello rapido consente di avere un controllo molto più rapido e preciso, specialmente nei casi di maggiore criticità.

Il modello, inoltre, può identificare i parametri R e C dagli stessi dati di controllo e quindi simulare con correttezza e precisione il comportamento dell'edificio.

La possibilità di risolvere il modello R5C1 con flusso imposto fornisce uno strumento di controllo aggiuntivo rispetto ai casi normali di funzionamento.

E' possibile controllare pienamente l'interazione edificio – impianti.

Non si affronta questo argomento in maggior dettaglio rinviandone l'approfondimento a studi successivi.

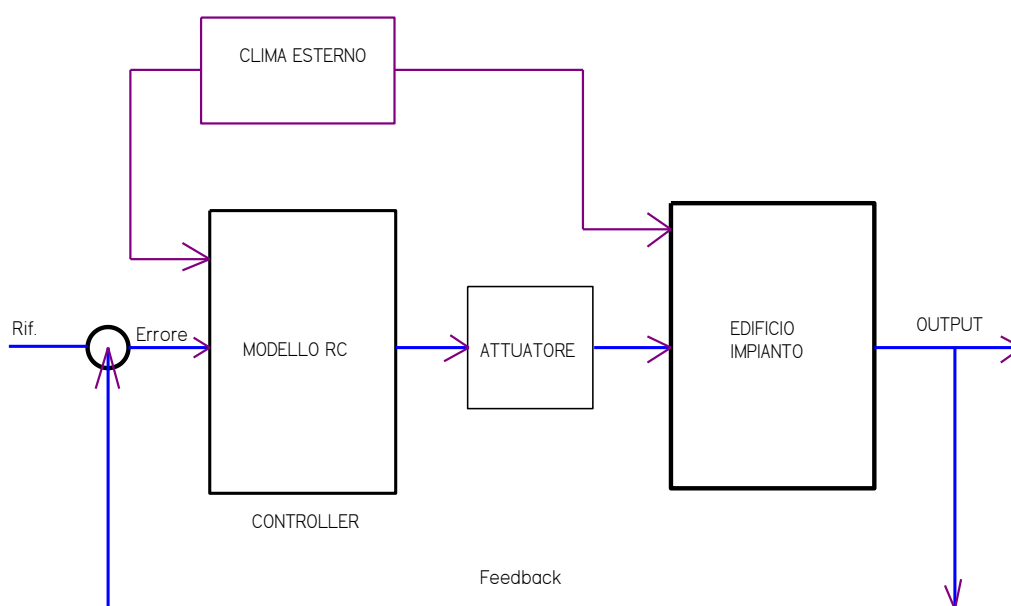


Figura 90: Sistema di controllo dell'edificio con l'utilizzo del modello ridotto

6. IMPIANTI MECCANICI IN EDIFICI AD ALTE PRESTAZIONI ENERGETICHE*

Realizzare un edificio totalmente autosufficiente senza l'intervento degli impianti meccanici è possibile per casi particolari di edifici passivi (*Zero Energy Buildings*). Si tratta di costruzioni particolari, di volumetria limitata e quasi sempre di tipo prototipale.

In questo tipo di edifici si ha anche il problema di assicurare un buon ricambio d'aria all'interno degli ambienti senza dover pagare un forte tributo energetico per la ventilazione naturale.

L'inserimento di opportuni impianti meccanici conferisce più flessibilità agli edifici tanto che sono stati realizzati anche grattacieli con caratteristiche di positività, cioè capaci di produrre più energia di quanta ne richiedano per la climatizzazione.

Se si desidera realizzare edifici quasi zero energia occorre temperare sia le azioni progettuali di tipo architettonico con la capacità di autoproduzione energetica degli edifici. Si osservi che il bilancio energetico è fatto sull'edificio e sue pertinenze in un periodo annuale. Ciò significa che in alcune parti dell'anno l'edificio può assorbire energia dalla rete esterna e in altre parti dell'anno può invece produrre energia in eccesso che può essere ceduta alla rete esterna.

In alcune nazioni si impone che il bilancio sia nullo (*Edifici a Zero Energia*) mentre in Europa, per effetto delle direttive 31/2010/CE si richiede che questo bilancio sia non nullo ma *quasi zero*. Il valore di questa differenza non è ancora fissato.

6.1 UTILIZZO DI ENERGIA ELETTRICA DA RETE

L'energia elettrica è una fonte energetica di grandissima importanza nell'impiantistica di un edificio. Essa consente di far marciare pompe, bruciatori, refrigeratori d'acqua, riscaldatori elettrici, ... Praticamente quasi tutti i dispositivi d'impianto funzionano ad energia elettrica.

Anche se l'approvvigionamento dell'energia elettrica è garantito dal Gestore di Rete, va tenuto presente che la produzione di energia elettrica è effettuata nelle centrali elettriche con un rendimento termodinamico non unitario. Per produrre 1 kWh di energia elettrica occorrono **2,174 kWh** di energia termica, considerando un *fattore di produzione nazionale* pari a **0,46 kWh_e/kWh_t**.

Si intuisce, quindi, che usare una banale resistenza elettrica per il riscaldamento ambientale (stufe elettriche) è un uso improprio e fortemente penalizzante per la collettività.

Meglio è, certamente, utilizzare le pompe di calore. Queste, come si dirà meglio nel prosieguo, utilizzano l'energia elettrica in modo più appropriato per far marciare un sistema complesso che, assorbendo calore dall'ambiente esterno, cede all'ambiente più energia di quanto ne consumi.

Come già detto, viene definito COP (*Coefficient of Performance*) il rapporto fra la potenza termica resa e la potenza elettrica assorbita:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{ceduto}}{P_{elettrica}}$$

Questo fattore varia a seconda del tipo di pompa di calore (ciclo utilizzato, fluido frigorifero, tipologia di scambiatori di calore) e varia, per pompe a compressione di vapori saturi, da circa 2 a circa 7. Assumendo un valore pari a 4 la precedente espressione ci dice che per ogni kW di potenza elettrica impegnata se ne ottengono 4 kW termici. Il bilancio energetico sul sistema pompa di calore porta a considerare 3 kW di potenza termica assorbiti dall'ambiente esterno e quindi del tutto gratuiti.

Il fattore di utilizzo dell'energia elettrica mediante pompa di calore è allora pari a:

$$f_{el} = \frac{\dot{Q}_{ceduto}}{Q_{consumata}} = \frac{4 \text{ kW}_{ceduti}}{2.44 \text{ kW}_{consumati}} = 1,839$$

In pratica il fattore di utilizzo dell'energia elettrica con pompa di calore avente COP=4 è pari al 166,7%. Un semplice resistenza elettrica avrebbe un fattore di utilizzo pari a $1/2.4 = 0,41$ cioè appena il 41% dell'energia primaria spesa nelle centrali elettriche.

L'ambiente esterno da cui prelevare energia mediante pompe di calore può essere, oltre all'aria esterna, anche il terreno ad opportuna profondità (geotermia a bassa entalpia) o un serbatoio di acqua (acque di falda, mare, lago o fiume), cascami termici di processi industriali o anche calore di scarto di motori termici primari (cogenerazione termica).

Per caratterizzare la variabilità del COP durante la stagione invernale è stato proposto (ma non ancora disponibile) l'**ES COP** (*European Seasonal Coefficient of Performance*) che sarà valutato per i climi di riferimento di Helsinki, Amburgo e Napoli. Di questo indice si parlerà nel prosieguo di questo volume.

Questo indice è l'analogo dell'ESEER (*European Seasonal Energy Ratio*) utilizzato per caratterizzare l'efficienza media stagionale dei refrigeratori d'acqua.

6.2 INTEGRAZIONE ENERGETICA NEGLI EDIFICI CON POMPA DI CALORE

Si presenta qui uno studio di utilizzo delle pompe di calore con integrazione elettrica di origine anche fotovoltaica.

L'energia primaria totale utilizzata dall'edificio è data dalla somma dei seguenti termini:

- *energia per riscaldamento;*
- *energia per il raffrescamento;*
- *energia per produzione di acqua calda sanitaria (ACS);*
- *energia per illuminazione.*

Se riferiamo i consumi energetici primari all'unità di superficie e all'anno possiamo esprimere ciascuno dei termini sopra indicati in kWh/(m².a), si hanno cioè gli indici di prestazione energetica per tipologia di consumi. La somma di tutti gli indici di prestazione energetica ci fornisce l'indice globale di prestazione energetica, EP_g, dell'edificio. Detto indice attualmente è sottoposto alle verifiche per la certificazione energetica, domani dovrà rispettare i valori proposti dalle norme per gli edifici quasi zero energia.

6.2.1 EDIFICIO CON SOLO RISCALDAMENTO ACS ED ILLUMINAZIONE

Si supponga di avere un edificio sottoposto a solo riscaldamento invernale e con consumi per ACS ed illuminazione. Se riportiamo tutti i consumi riferiti all'involucro in consumi equivalenti elettrici si ha il seguente schema di calcolo. Le richieste energetiche vanno riferite all'involucro, cioè

dagli impianti all'edificio, e ciò può farsi moltiplicando l' EP_{CI} per il rendimento globale di impianto, η_g . Si ricorda che quest'ultimo è dato dal prodotto:

$$\eta_g = \eta_p \eta_d \eta_c \eta_r$$

cioè è dato dal prodotto dei rendimenti:

η_p *rendimento di produzione del generatore termico;*

η_d *rendimento di distribuzione;*

η_c *rendimento di cessione dei terminali;*

η_r *rendimento di regolazione.*

Il D.P.R. 59/09 indica come valutare ciascuno di questi termini. Lo stesso decreta fissa anche il rendimento minimo dell'impianto pari a:

$$\eta_{g\_impianto} = 75 + 3 \log P$$

con P la potenza in kW dell'impianto. Pertanto ci riferiremo a questo valore.

L'energia elettrica per riscaldamento ed acqua calda sanitaria, supponendo di utilizzare una pompa di calore, si ottiene dividendo la somma dei due consumi per il COP della pompa di calore:

$$E_{elett.da.risc.e.ACS} = \frac{E_{risc} \cdot \eta_{g\_impianto} + E_{ACS} = (EP_i + EP_{ACS}) \cdot S_{utile}}{COP}$$

espresso⁴² in kWh/a. I consumi elettrici per illuminazione si ottengono direttamente dalla relazione:

$$E_{illuminazione} = EP_{ill} \cdot S$$

Il consumo elettrico annuo complessivo vale:

$$E_{globale} = E_{elett.da.risc.e.ACS} + E_{illuminazione}$$

Questa richiesta deve soddisfare le richieste sia del D.Lgs. 28/2011 che quelle per gli EQZE.

Se si vuole integrare con una percentuale⁴³ p_{int} ad esempio con pannelli fotovoltaici dei quali si conosce la produzione annua espressa in $\eta = kWh_{anno} / kW_{picco}$ allora la potenza di picco è pari a:

$$P_{FV} = \frac{E_{globale} \cdot p_{int}}{\eta}$$

espressa in kW_p. Tale valore deve essere non inferiore alla *potenza minima* richiesta dal D.Lgs. 28/2011 che vale:

$$P = \frac{S_{pianta}}{K}$$

in kW e con K che assume valore pari a 80,65 o 50 a partire, rispettivamente, dal 31/05/2012, dal 01/01/2014 e dal 01/01/2017.

⁴² Quanto qui detto per l' EP_i riferito alla superficie utile (edifici residenziali) vale anche per l' EP_i riferito al volume lordo riscaldato (edifici non residenziali)

⁴³ Il bando della Regione Piemonte prevede una percentuale minima del 50% di integrazione con energie rinnovabili.

La superficie di raccolta è allora calcolabile note le caratteristiche dei pannelli fotovoltaici utilizzati. Se indichiamo con $\varepsilon = \frac{S_{FV}}{P_{FV}}$ la superficie specifica⁴⁴ per unità di potenza di picco dei pannelli utilizzati allora la superficie totale richiesta è;

$$S_{FV} = P_{FV} \cdot \varepsilon$$

espressa in m². A questa superficie di raccolta occorre sommare quella di integrazione (almeno 50%) per la produzione di acqua calda sanitaria da effettuare con collettori solari termici.

In Tabella 34 si ha un esempio di calcolo per edificio in zona B avente EP_i, EP_{acs}, EP_{ill} calcolati in base alla certificazione energetica (linee guida nazionali), con rendimento globale di impianto pari a 0,8 e con tre ipotesi di pompa di calore con COP=3,3,5 e 4.

Si suppone che la percentuale di integrazione in base al D.lgs. 28/2011 sia variabile da 20 al 50%. La superficie utile è di 100 m².

Si ha nell'ultima colonna il calcolo della superficie utile di pannelli fotovoltaici da inserire nell'edificio, in aggiunta a quelli per la produzione di ACS che, per la superficie indicata e per edilizia residenziale, possiamo ritenere di 4 m² di collettori solari piani.

Ep _i	eta.g	EP.i.inv	COP	EP.acs	Su	EP.ill	E.i.inv	E.acs	E-elettrico	E.ill	p%	eta.FV	P.FV	epsilon	S.FV
kWh/(m ² .a)	kWh/(m ² .a)	kWh/(m ² .a)	kW/kW	kWh/(m ² .a)	m ²	kWh/(m ² .a)	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	%	kWh/kWp	kW	m ² /kWp	m ²
43,7	0,8	34,96	3,00	19	100	50	3496	1900	1798,67	5000	20%	1200	1,13	10	11,33
43,7	0,8	34,96	3,00	19	100	50	3496	1900	1798,67	5000	35%	1200	1,98	10	19,83
43,7	0,8	34,96	3,00	19	100	50	3496	1900	1798,67	5000	50%	1200	2,83	10	28,33
43,7	0,8	34,96	3,50	19	100	50	3496	1900	1541,71	5000	20%	1200	1,09	10	10,90
43,7	0,8	34,96	3,50	19	100	50	3496	1900	1541,71	5000	35%	1200	1,91	10	19,08
43,7	0,8	34,96	3,50	19	100	50	3496	1900	1541,71	5000	50%	1200	2,73	10	27,26
43,7	0,8	34,96	4,00	19	100	50	3496	1900	1349,00	5000	20%	1200	1,06	10	10,58
43,7	0,8	34,96	4,00	19	100	50	3496	1900	1349,00	5000	35%	1200	1,85	10	18,52
43,7	0,8	34,96	4,00	19	100	50	3496	1900	1349,00	5000	50%	1200	2,65	10	26,45

Tabella 34: Calcolo della superficie di pannelli FV per varie ipotesi

In definitiva al variare della percentuale di integrazione dal 20 al 50% la superficie di raccolta totale (FV + termico) varia da 15,30 a 32,33 m² per COP=3 e da 15,58 a 30,45 m² per COP=4.

La modesta riduzione della superficie dei PV può trarre in inganno. In realtà si osservi come l'energia elettrica richiesta per illuminazione (ed elettrodomestici) sia circa il 50% di quella richiesta per il riscaldamento invernale. Pertanto la copertura del carico elettrico di illuminazione pesa fortemente nel bilancio complessivo perché non viene ridotto dal COP della pompa di calore.

Nella Tabella 35 si ha la stessa tipologia di calcolo precedente ma con EP_{ill}=0, cioè senza carichi elettrici interni. L'energia richiesta è solo per riscaldamento e ACS.

Si osserva come la superficie dei PF si riduce drasticamente di quasi un fattore e, in aggiunta, come al crescere del COP diminuisca sensibilmente anche la superficie dei PF.

⁴⁴ Questo valore è desumibile dai Data Sheet dei costruttori di Pannelli fotovoltaici.

Epi	eta.g	EP.i.inv	COP	EP.acs	Su	EP.ill	E.i.inv	E.acs	E-elettrico	E.ill	p%	eta.FV	P.FV	epsilon	S.FV
kWh/(m ² .a)	kWh/(m ² .a)	kWh/(m ² .a)	kW/kW	kWh/(m ² .a)	m ²	kWh/(m ² .a)	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	%	kWh/kWp	kW	m ² /kWp	m ²
43,7	0,8	34,96	3,00	19	100	0	3496	1900	1798,67	0	20%	1200	0,30	10	3,00
43,7	0,8	34,96	3,00	19	100	0	3496	1900	1798,67	0	35%	1200	0,52	10	5,25
43,7	0,8	34,96	3,00	19	100	0	3496	1900	1798,67	0	50%	1200	0,75	10	7,49
43,7	0,8	34,96	3,50	19	100	0	3496	1900	1541,71	0	20%	1200	0,26	10	2,57
43,7	0,8	34,96	3,50	19	100	0	3496	1900	1541,71	0	35%	1200	0,45	10	4,50
43,7	0,8	34,96	3,50	19	100	0	3496	1900	1541,71	0	50%	1200	0,64	10	6,42
43,7	0,8	34,96	4,00	19	100	0	3496	1900	1349,00	0	20%	1200	0,22	10	2,25
43,7	0,8	34,96	4,00	19	100	0	3496	1900	1349,00	0	35%	1200	0,39	10	3,93
43,7	0,8	34,96	4,00	19	100	0	3496	1900	1349,00	0	50%	1200	0,56	10	5,62
43,7	0,8	34,96	5,00	19	100	0	3496	1900	1079,20	0	20%	1200	0,18	10	1,80
43,7	0,8	34,96	5,00	19	100	0	3496	1900	1079,20	0	35%	1200	0,31	10	3,15
43,7	0,8	34,96	5,00	19	100	0	3496	1900	1079,20	0	50%	1200	0,45	10	4,50
43,7	0,8	34,96	6,00	19	100	0	3496	1900	899,33	0	20%	1200	0,15	10	1,50
43,7	0,8	34,96	6,00	19	100	0	3496	1900	899,33	0	35%	1200	0,26	10	2,62
43,7	0,8	34,96	6,00	19	100	0	3496	1900	899,33	0	50%	1200	0,37	10	3,75

Tabella 35: Calcolo della superficie di pannelli FV per varie ipotesi ma con EPill=0

Da quanto osservato si deduce che le azioni principali per ridurre le superfici dei pannelli fotovoltaici sono due:

- 1 ridurre al massimo l'energia elettrica richiesta dall'edificio utilizzando lampade a basso consumo (a luminescenza), elettrodomestici in classe A+ e anche A++, scaldacqua con pompa di calore, anziché a resistenza, assistita da collettori solari termici integrativi;
- 2 utilizzare la pompa di calore con il più alto COP possibile. Oggi sono in commercio pompe di calore ad alte prestazioni con COP>3,5. Ancora meglio se si utilizzano pompe del tipo acqua – acqua, come quelle per geotermia a bassa temperatura, con COP> 5,5, come dimostrato nella Tabella 35.

Il calcolo sopra esposto non garantisce che si abbia effettivamente la percentuale di integrazione $p\%$ specificata. Si ricordi, infatti, che l'energia solare e l'energia eolica hanno una utilizzabilità di tipo statistico e non deterministico.

Mediamente nell'anno il bilancio energetico si approssima a quello desiderato ma si può avere l'anno più favorevole e quello meno favorevole.

Un edificio *grid connected*, cioè connesso alla rete elettrica, potrà compensare la mancanza di energia o la maggiore produzione di energia importandola o esportandola, rispettivamente, dalla rete esterna.

6.2.2 EDIFICIO CON IMPIANTI DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO, ACS E ILLUMINAZIONE

Esaminiamo ora il caso di un edificio che abbia tutte e quattro le tipologie impiantistiche e quindi si abbia anche il raffrescamento.

L'energia specifica di involucro per il riscaldamento vale:

$$EP_{i,inv} = EP_i \cdot \eta_{g\_impianto}$$

L'energia specifica di involucro per riscaldamento e raffrescamento vale:

$$EP_{ie,inv} = EP_i \cdot \eta_{g\_impianto} + EP_{e,inv}$$

espressa in kWh/(m².a) per edifici residenziali e in kWh/(m³.a) per edifici non residenziali.

L'energia termica globale annua richiesta dall'edificio di superficie utile S_u è la somma del valore precedente più quello di ACS, cioè $E_{impianti} = EP_{g,imp} \cdot S_u$ e l'energia elettrica equivalente da fornire alla pompa di calore avente efficienza COP è data dalla relazione:

$$E_{elett.impianti.e.ACS} = \frac{E_{risc} + E_{ACS} = (EP_i + EP_{ACS}) \cdot S_{utile}}{COP}$$

in kWh/a. A questo punto possiamo proseguire come esposto nel precedente paragrafo per il calcolo della superficie dei collettori fotovoltaici necessari alla integrazione desiderata nel rispetto anche del D.lgs. 28/2011.

In Tabella 36 si una sintesi dei risultati derivati dalla Tabella 34 ma con l'inserimento di $Ep_{e,inv}$. Valgono le stesse considerazioni esposte per il caso precedente.

6.3 CONDIZIONI PER L'ACCETTAZIONE DELLA RINNOVABILITÀ DELL'ENERGIA

Come già accennato, l'energia termica contenuta nell'aria, nel terreno o nelle acque superficiali si può definire rinnovabile a patto che l'efficienza con cui viene estratta sia sufficientemente elevata da renderne vantaggioso lo sfruttamento. Si ritiene vantaggioso lo sfruttamento delle fonti rinnovabili aerotermiche, geotermiche e idrotermiche quando il consumo di combustibili fossili è mantenuto a bassi livelli, pertanto diventa necessario verificare i consumi di energia primaria delle diverse tipologie di pompe di calore, siano esse azionate da combustibile gassoso oppure da energia elettrica.

Epi	eta.g	EP.i.inv	EP.e.inv	COP	EP.acs	Su	EP.ill	E.i.inv	E.e.inv	E.acs	E-elettrico	E.ill	p%	eta.FV	P.FV	epsilon	S.FV
Wh/(m².a)	kWh/(m².a)	kWh/(m².a)	kWh/(m².a)	kW/kW	Wh/(m².a)	m²	Wh/(m².a)	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	%	kWh/kWp	kW	m²/kWp	m²
43,7	0,8	34,96	50	3,00	19	100	50	3496	5000	1900	3465,33	5000	20%	1200	1,41	10	14,11
43,7	0,8	34,96	50	3,00	19	100	50	3496	5000	1900	3465,33	5000	35%	1200	2,47	10	24,69
43,7	0,8	34,96	50	3,00	19	100	50	3496	5000	1900	3465,33	5000	50%	1200	3,53	10	35,27
43,7	0,8	34,96	50	3,50	19	100	50	3496	5000	1900	2970,286	5000	20%	1200	1,33	10	13,28
43,7	0,8	34,96	50	3,50	19	100	50	3496	5000	1900	2970,286	5000	35%	1200	2,32	10	23,25
43,7	0,8	34,96	50	3,50	19	100	50	3496	5000	1900	2970,286	5000	50%	1200	3,32	10	33,21
43,7	0,8	34,96	50	4,00	19	100	50	3496	5000	1900	2599	5000	20%	1200	1,27	10	12,67
43,7	0,8	34,96	50	4,00	19	100	50	3496	5000	1900	2599	5000	35%	1200	2,22	10	22,16
43,7	0,8	34,96	50	4,00	19	100	50	3496	5000	1900	2599	5000	50%	1200	3,17	10	31,66
43,7	0,8	34,96	50	5,00	19	100	50	3496	5000	1900	2079,2	5000	20%	1200	1,18	10	11,80
43,7	0,8	34,96	50	5,00	19	100	50	3496	5000	1900	2079,2	5000	35%	1200	2,06	10	20,65
43,7	0,8	34,96	50	5,00	19	100	50	3496	5000	1900	2079,2	5000	50%	1200	2,95	10	29,50
43,7	0,8	34,96	50	6,00	19	100	50	3496	5000	1900	1732,667	5000	20%	1200	1,12	10	11,22
43,7	0,8	34,96	50	6,00	19	100	50	3496	5000	1900	1732,667	5000	35%	1200	1,96	10	19,64
43,7	0,8	34,96	50	6,00	19	100	50	3496	5000	1900	1732,667	5000	50%	1200	2,81	10	28,05

Tabella 36: Calcolo della superficie di pannelli FV per varie ipotesi con raffrescamento

La sotto riportata equazione consente la verifica dell'ammissibilità delle pompe di calore come sistemi in grado di sfruttare energia rinnovabile aerotermica, geotermica o idrotermica.

$$SPF_{min} > \frac{1,15}{\eta}$$

Il termine SPF nella presente formula, come anche nelle successive, identifica il coefficiente di prestazione medio stagionale della pompa di calore, di fatto un GUE o un COP medio stagionale. Il termine η identifica invece il rendimento di trasformazione da energia primaria a energia elettrica.

Il valore 1,15 è un coefficiente stabilito dalla Direttiva Europea. Il rendimento η è definito annualmente da *Eurostat* e attualmente vale 0,46.

Ne risulta un valore minimo dell'SPF che, con gli attuali valori di η , risulta:

$$SPF_{min} > 1,15$$

per pompe di calore a gas

$$SPF_{min} > 2,875$$

per pompe di calore elettriche

Da notare che il valore di SPF pari a 2,875 può essere agevole da raggiungere per unità geotermiche o idrotermiche, ma risulta molto più arduo da ottenere per unità aerotermiche, specie se applicate in regimi rigidi o con richiesta di alte temperature.

Per il calcolo dell'SPF la normativa citata propone la seguente relazione:

$$SPF_{PdC} = \frac{E_{PdC}}{E_{ass}}$$

dove SPF_{PdC} è il coefficiente di prestazione medio stagionale della pompa di calore; E_{PdC} è l'energia termica resa disponibile dalla pompa di calore durante una stagione; E_{ass} è in generale l'energia spesa per consentire il funzionamento della pompa di calore durante una stagione.

Per le pompe di calore azionate elettricamente l'SPF è sempre riferito al consumo di energia E_{ass} elettrica, mentre per le pompe di calore ad assorbimento e a motore endotermico il consumo di energia E_{ass} è riferito ai consumi primari della macchina.

Pertanto per le pompe di calore a gas vale la seguente relazione:

$$E_{ass} = E_{gas} + \frac{E_{elet}}{\eta}$$

Dove:

- E_{gas} è l'energia dovuta al consumo di gas combustibile;
- E_{elett} è l'energia elettrica consumata dall'unità e dai suoi ausiliari montati a bordo,
- η identifica come in precedenza il rendimento di trasformazione da energia primaria a energia elettrica.

Si può ulteriormente definire il rapporto di energia primaria stagionale REP_s , definito come il rapporto tra l'energia termica resa dalla pompa di calore e l'energia primaria complessivamente spesa dalla stessa per il suo funzionamento.

Per le pompe di calore elettriche vale la seguente relazione:

$$REP_s = \eta SPF_{PdC}$$

Per le pompe di calore a gas (ad assorbimento o a motore endotermico) vale la seguente relazione:

$$REP_s = SPF_{PdC}$$

6.4 CALCOLO DELL'ENERGIA RINNOVABILE REALE AI FINI DELLA VALUTAZIONE ENERGETICA

Lo scopo finale dell'utilizzo delle energie rinnovabili è la riduzione del consumo globale di combustibili fossili, pertanto risulta evidente che ogni tipologia di diagnosi o valutazione energetica

sui consumi degli impianti di climatizzazione non può prescindere dal considerare l'efficienza dei sistemi progettati e realizzati per prelevare e trasferire dalle sorgenti fredde l'energia rinnovabile.

Non trascurare l'efficienza per stimare i consumi di energia primaria dei sistemi di generazione che fanno uso anche di energie rinnovabili, equivale a dire che in luogo della relazione precedentemente descritta, si deve far uso di una relazione differente avente interpretazione univoca e legata al rapporto di energia primaria REP in luogo del coefficiente di prestazione stagionale SPF.

Per tutti gli scopi di valutazione energetica, l'energia rinnovabile realmente prelevata dalle pompe di calore E^*_{RES} deve essere necessariamente calcolata attraverso la seguente relazione:

$$E^*_{RES} = E_{tot} \left(1 - \frac{1}{REP_{S,Sist}} \right)$$

ove:

- E_{tot} è l'energia totale trasferita dall'intero sistema di generazione;
- $REP_{S,Sist}$ è il rapporto di energia primaria calcolato a livello stagionale per l'intero sistema di generazione dell'energia.

Nei prossimi capitoli si parlerà diffusamente delle pompe di calore e del loro utilizzo nell'ambito dell'applicazione del D.Lgs. 28/2011 e della norma UNI TS 11300/4 sulle FER.

7. ANALISI TERMICA DINAMICA DEGLI EDIFICI*

7.1 LA PROBLEMATICHE DELL'ANALISI DINAMICA DEGLI EDIFICI

La progettazione classica degli impianti, così come visti in precedenza, basata sul carico termico di picco è ampiamente utilizzata ed ammessa per edifici non di grande volumetria.

Per edifici oltre 50000-100000 m³ sono molto importanti i comportamenti dinamici, cioè le variazioni dei carichi termici non solo nelle peggiori condizioni ma in regime variabile. Il rischio che si corre è che nel comportamento dinamico si manifestino esigenze impiantistiche che con il carico statico (di picco) non sono evidenziati.

Si ricordi, infatti, che le ipotesi di calcolo statico del carico di picco presuppongono di avere una temperatura esterna sempre costante e pari alla temperatura di progetto e di trascurare gli apporti gratuiti (esterni ed interni) dell'edificio.

In questo modo viene esclusa qualsiasi variabilità temporale del carico termico e questo può facilmente condurre all'errore di pensare che l'edificio abbia esigenze impiantistiche costanti.

Un esempio può chiarire quanto appena detto. Si consideri un edificio, a Catania, avente superficie in pianta di 10 x 10 m² ed un'altezza complessiva di 16 m (tre piani fuori terra). Le pareti, i solai e gli infissi rispettino tutti i limiti del D.Lgs. 192/95.

Strutture conformi alla legge			☐ Usa Um nel confronto		 Impostazioni Um	
Co	Tipo	Esposizione	MF (kg/m ²)	U (W/m ² K)	Verifica	Note
163 P.E	verticale opaca	Esterno	412.5	0.314	NR	U<0.48
234 S.E	serramento	Esterno	31.2	1.698	NR	U<3.00
234 S.E	vetro	Esterno	31.2	1.400	NR	U<2.70
654 SOF	orizzontale opaca	Esterno	307.2	0.331	NR	U<0.38

Figura 61: Strutture utilizzate per il caso esempio

La situazione dei carichi termici di picco, vedi figura seguente, evidenzia un carico totale pari a 8066 W. Questo è usualmente il valore utilizzato per il progetto dell'impianto di riscaldamento.

Vediamo adesso cosa succede nei mesi invernali di gennaio, febbraio e marzo effettuando un'analisi dinamica con il metodo TFM, avendo supposto una temperatura interna di 20 °C, come imposto nel calcolo statico di picco.

Dalla Figura 64 alla Figura 66 si hanno gli andamenti dei carichi dinamici per i tre mesi considerati.

Possiamo immediatamente fare alcune osservazioni importanti.

- Il metodo TFM tiene conto degli apporti gratuiti esterni ed interni e per conseguenza i valori dei carichi massimi sono sempre inferiori al carico di picco dianzi calcolato, non superando mai i 5312 W, cioè il 65% del carico massimo statico.

- Durante le ore diurne, ad esclusione del mese di gennaio (il più freddo) si ha un carico termico che inverte il segno (da negativo diviene positivo) e cioè i guadagni superano i disperdimenti. Ciò avviene dalle 9 alle 16 a febbraio e dalle 7 alle 19 a marzo.

EDIFICIO
IMPIANTO
 — unico
PIANO: 2849
 01 Terra
ZONA: 2849
 01 Unica
AMBIENTE 2849
 01 Unico

potenza [W]
8066

dispersioni per ventilazione

nr	q	ric	I1	I2	I3	volume	potenza
01	1	0.50	10.00	10.00	4.00	400	735
02	0	0.50	0.00	0.00	0.00	0	0

dispersioni per trasmissione

nr	str	co	q	es	U	dt	I1	I2	A	potenza
01	P.E	163	1	E	0.31	15	10.00	4.00	28.1	152
02	S.E	234	4	E	1.88	15	2.05	1.45	11.9	386
03	P.E	163	1	W	0.38	15	10.00	4.00	28.1	174
04	S.E	234	4	W	1.88	15	2.05	1.45	11.9	369
05	P.E	163	1	N	0.38	15	10.00	4.00	40.0	271
06	P.E	163	1	S	0.38	15	10.00	4.00	28.1	159
07	S.E	234	4	S	1.88	15	2.05	1.45	11.9	335
08	PAV	525	1		0.38	7	10.00	10.00	100.0	268
09	PTE	701	4		0.05	0	1.00	4.00	0.0	0
10	PTE	703	4		0.02	0	1.00	4.00	0.0	0
11	PTE	705	4		0.30	0	1.00	10.00	0.0	0
12	PTE	707	12		0.14	0	1.00	6.00	0.0	0

Volume 400.0
 S pianta 100.00
 S disperdente 260.00
 P trasmissione 2114.3
 P ventilazione 735.0
 P totale 2849.3

ta [°C] 20
 cor te [°C] 0
 um. rel. % 50
 aum/rid % 0

SUDDIVISIONE EDIFICIO IMPIANTO:

- 01 Terra
 - 0101 Unica
 - 01 Unico
- 02 Primo
 - 0201 Unica
 - 01 Unico
- 03 Secondo
 - 0301 Unica
 - 01 Unico

Figura 62: Carichi termici di picco

Località CATANIA
Comune CATANIA
Provincia CATANIA
Altitudine 7
Latitudine 37°30'
Temp. esterna 5
Gradi giorno 833

Clearness number 1.00
Longitudine 15°05'
Località rif. TE CATANIA
Località rif. GG CATANIA

Periodo riscaldamento ZONA .. B
Inizio 01-12 **Fine** 31-03
Durata 121 **Ore** 8

VENTO:
Zona 3 **Località rif.**
Velocità 4.40 **Direzione** W

Consistenza demografica
 <50.000

DATI CLIMATICI MENSILI

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Hbh	5.7	7.7	10.5	14.1	18.6	21.6	22.1	19.8	14.1	9.2	6.6	5.0
Hdh	3.3	4.2	5.5	6.6	6.9	6.6	6.1	5.6	5.4	4.5	3.4	3.0
Rif	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Te	10.7	11.2	12.9	15.5	19.1	23.5	26.5	26.5	24.1	19.9	15.9	12.3
Pv	901.0	1003.0	1056.0	1182.0	1536.0	1884.0	2015.0	2307.0	1968.0	1572.0	1274.0	1023.0
DTge	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	10.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tbse	7.0	12.0	18.0	22.0	28.0	33.5	33.5	33.5	28.0	18.0	10.0	8.0
URe	70.0	70.0	70.0	60.0	60.0	60.0	55.0	55.0	55.0	60.0	65.0	70.0

Figura 63: Dati climatici per Catania

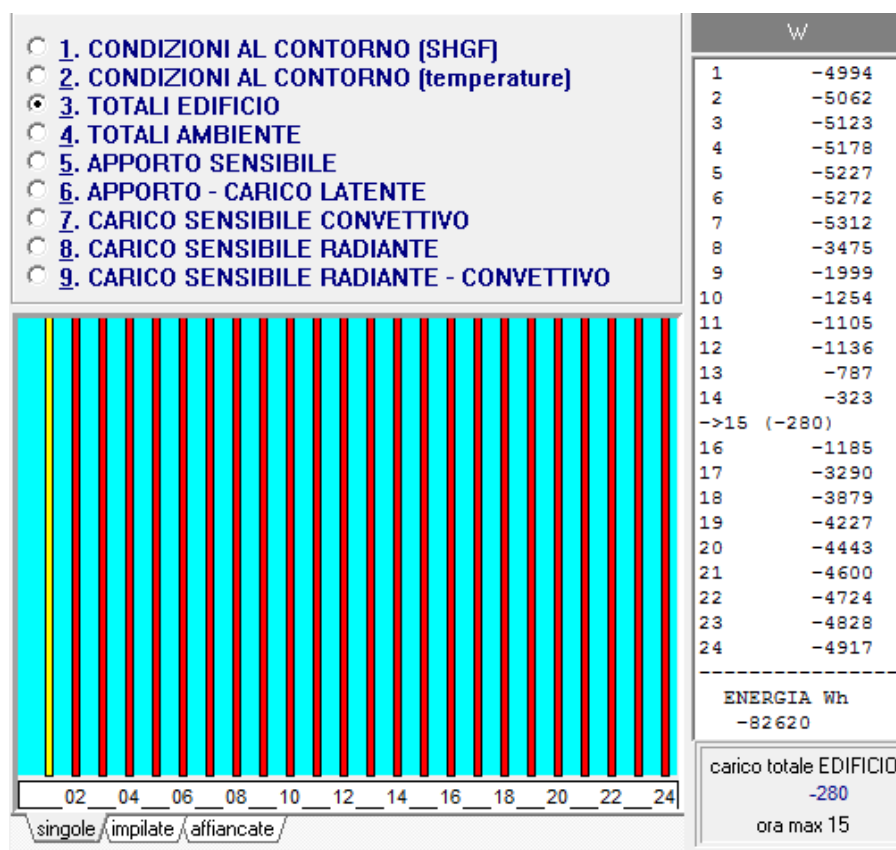


Figura 64: Carico dinamico a gennaio

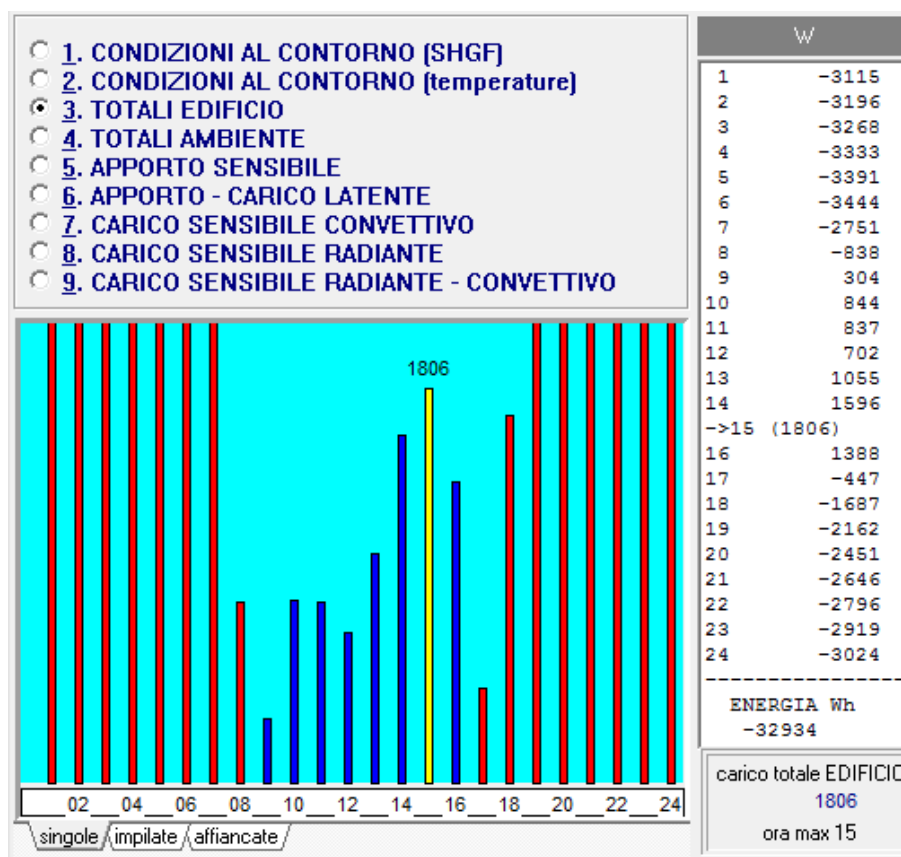


Figura 65: Carico dinamico a febbraio

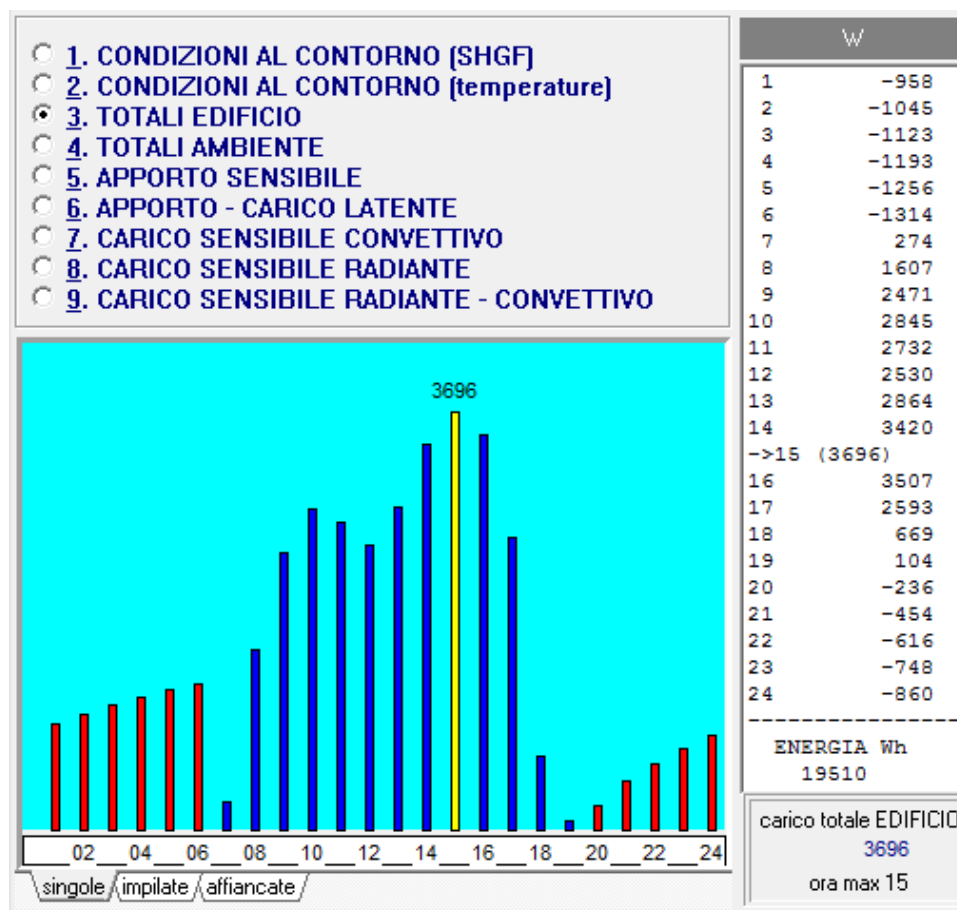


Figura 66: Carico dinamico a marzo

In quest'ultimo caso appare evidente che occorrerebbe raffrescare più che riscaldare. A Catania con 8 ore/giorno di riscaldamento si spegne l'impianto nelle ore giornaliere per accenderlo solo nelle ore serali o nelle ore antecedenti le 8.

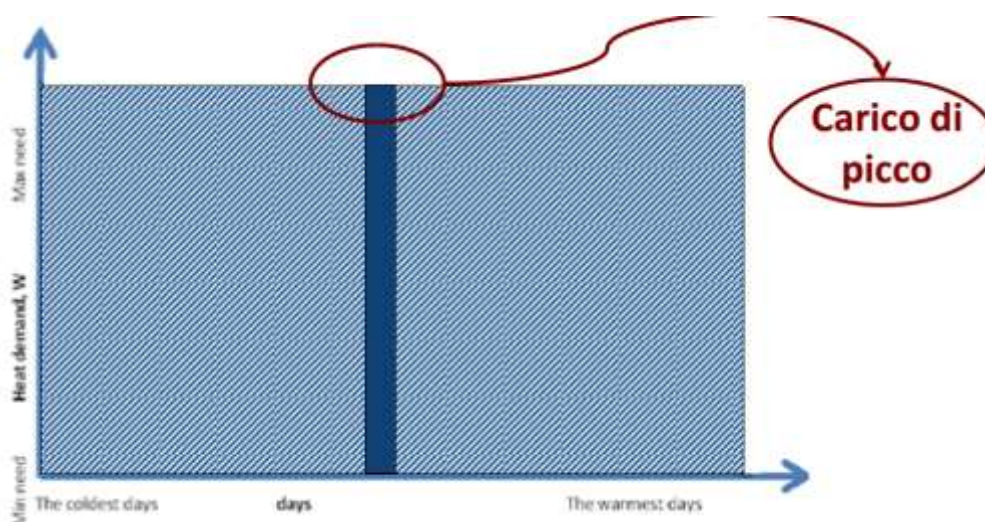


Figura 67: Modellazione statica

Qualora l'impianto non venisse spento allora la regolazione (valvole termostatiche o a tre vie) dovrebbe intervenire per escludere l'alimentazione dei corpi scaldanti. In caso contrario si avrebbe un surriscaldamento degli ambienti.

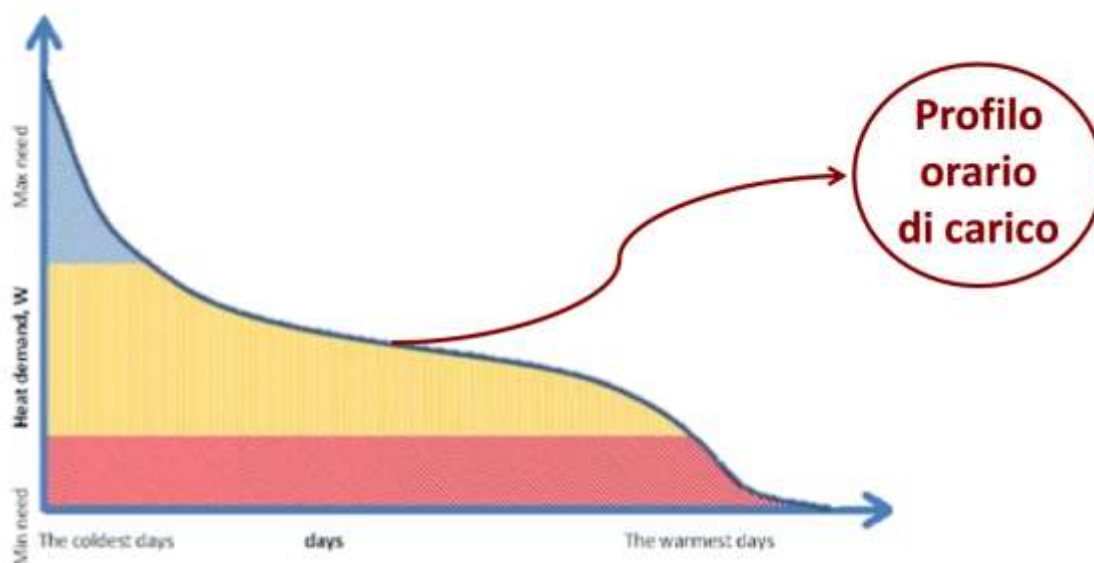


Figura 68: Modellazione dinamica

E' noto che il grattacielo Pirelli, a Milano, in inverno nelle belle giornate deve raffrescare gli ambienti esposti a sud.

L'analisi dinamica, pertanto, può consigliare una minore scelta dei componenti di impianto ed eventualmente suggerire di installare un sistema a quattro tubi (vedi dopo) capace di fornire contemporaneamente o il riscaldamento o il raffrescamento a seconda delle condizioni climatiche esterne e al valore della temperatura ambientale interna.

In ogni caso 8066 W di picco rappresentano un sovradimensionamento dell'impianto rispetto alle condizioni reali evidenziati dall'analisi dinamica.

Occorre quindi un nuovo modello di modellazione dinamica che tenga conto del clima e dell'interazione edificio – ambiente con tutti gli apporti reali.

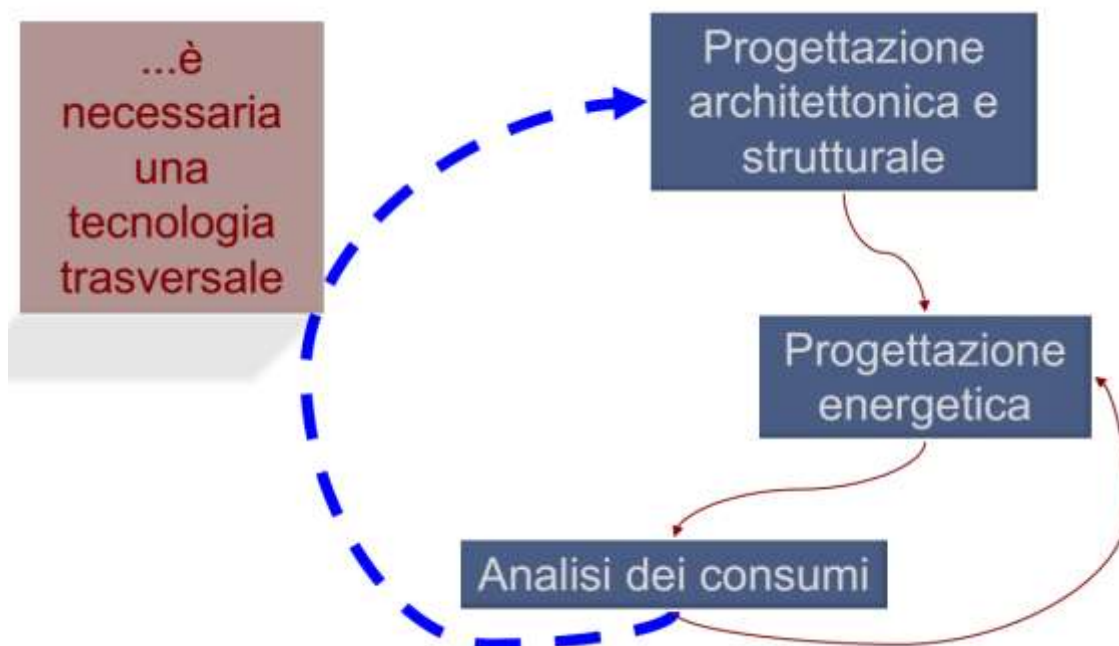


Figura 69: Nuovo modello di calcolo dinamico

7.2 MODELLAZIONE DINAMICA

Si possono avere vari modelli di simulazione dinamica, molti dei quali già discussi nel Volume 1A. Riassumiamo brevemente quelli più utilizzati.

7.2.1 MODELLI A SERIE TEMPORALI

Si utilizza un modello che approssima le condizioni stazionarie in brevi intervalli temporali, ad esempio un'ora. In quest'intervallo si esegue un bilancio energetico di regime. E' questo il caso del metodo TFM sopra indicato.

7.2.2 MODELLI STATISTICI

Le prestazioni dell'edificio sono determinate su un intervallo temporale più ampio, di solito un mese, e la variabilità delle grandezze su scala temporale inferiore è calcolata con metodi statistici. E' questo il caso del *Metodo Bin* che la UNI TS 11300/4 indica per il calcolo delle prestazioni energetiche delle pompe di calore. In pratica utilizzando valori statistici del luogo (scarto quadratico medio, deviazione standard, gradi di correlazione, ...) si calcolano le grandezze desiderate (ad esempio le temperature esterne, l'irraggiamento, ...).

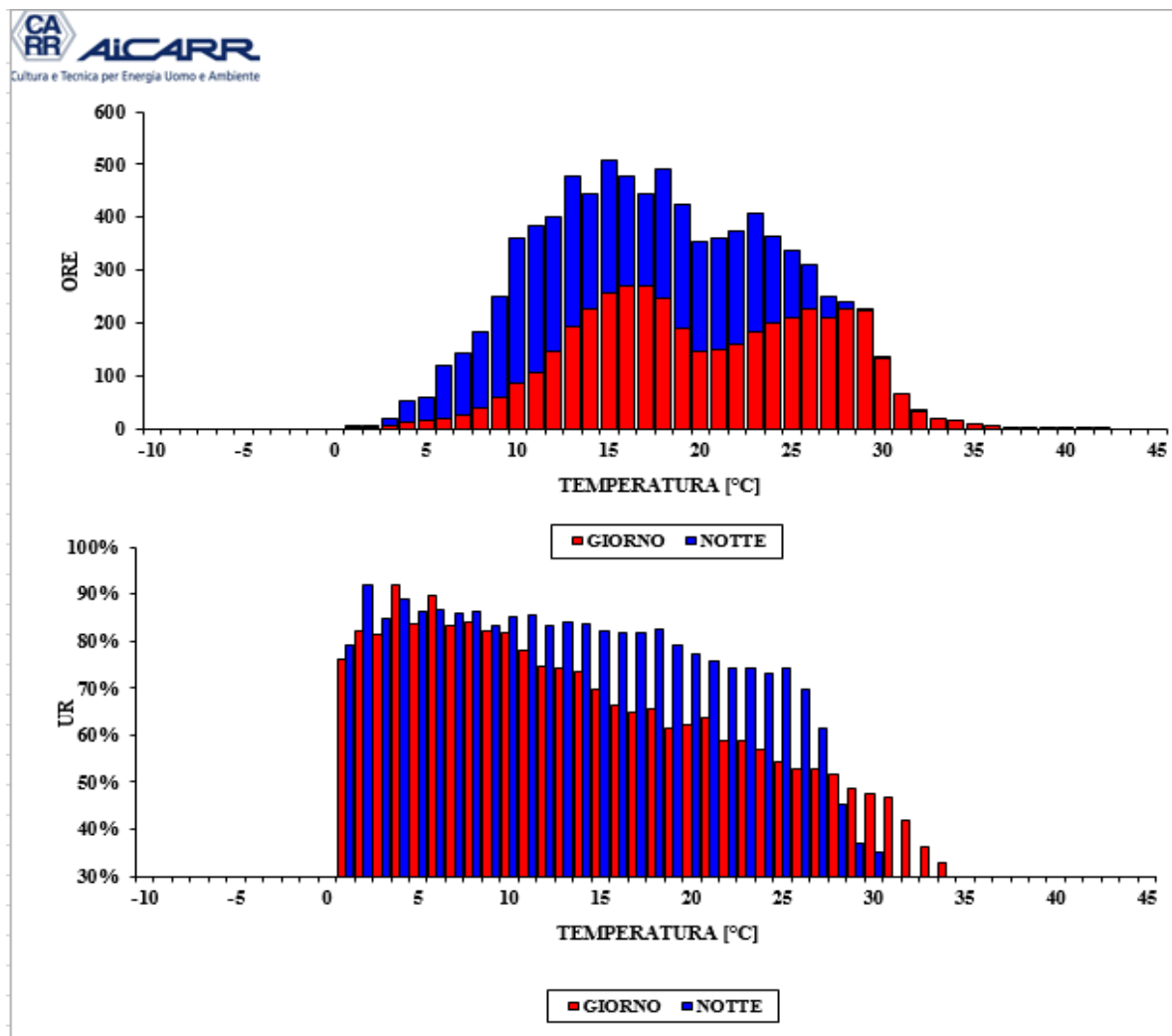


Figura 70: Andamenti statistici della temperatura e dell'umidità relativa per Catania

Per l'aria esterna si possono assumere i valori medi indicati dalla UNI 10349. In Figura 71 si hanno i valori medi di t_e e ϕ_e per i capoluoghi siciliani.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	alt.	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Agrigento	230	10,4	10,8	12,7	15,6	19,4	24,1	26,9	26,5	24	19,9	15,9	12,2
Caltanissetta	568	7,2	7,8	9,9	13,1	17,3	22,5	25,7	25,2	22,1	17,3	12,8	8,9
Catania	7	10,7	11,2	12,9	15,5	19,1	23,5	26,5	26,5	24,1	19,9	15,9	12,3
Enna	931	4,5	5,1	7,1	10,7	14,9	20,6	23,9	23,2	19,9	14,5	9,8	6,4
Messina	3	11,7	12	13,2	15,7	19,2	23,5	26,4	26,5	24,2	20,3	16,6	13,3
Palermo	14	11,1	11,6	13,1	15,5	18,8	22,7	25,5	25,4	23,6	19,8	16	12,6
Ragusa	502	8,6	9,2	11,2	14,1	18,5	23,6	26,6	26,4	23,2	18,4	14,3	10,1
Siracusa	17	11,3	11,5	13,1	15,4	18,7	23	26,2	26,4	23,9	17,5	13,5	9,9
Trapani	3	11	11,5	13,2	15,8	19,2	23,3	25,8	26,2	24	19,9	15,8	12,4

Figura 71: Temperature medie in Sicilia secondo UNI 10349

Altri dati si possono ottenere dalle librerie tecniche dell'AICARR alle quali si rimanda.

7.3 PROGRAMMI DI ANALISI DINAMICA

I codici di calcolo oggi disponibili sono:

- TRNSYS;
- ENERGY-PLUS eventualmente in congiunzione con DESIGN BUILDER;
- TFM;
- DOE;

Non si descrivono questi programmi che sono già stati descritti nel Volume 1A.

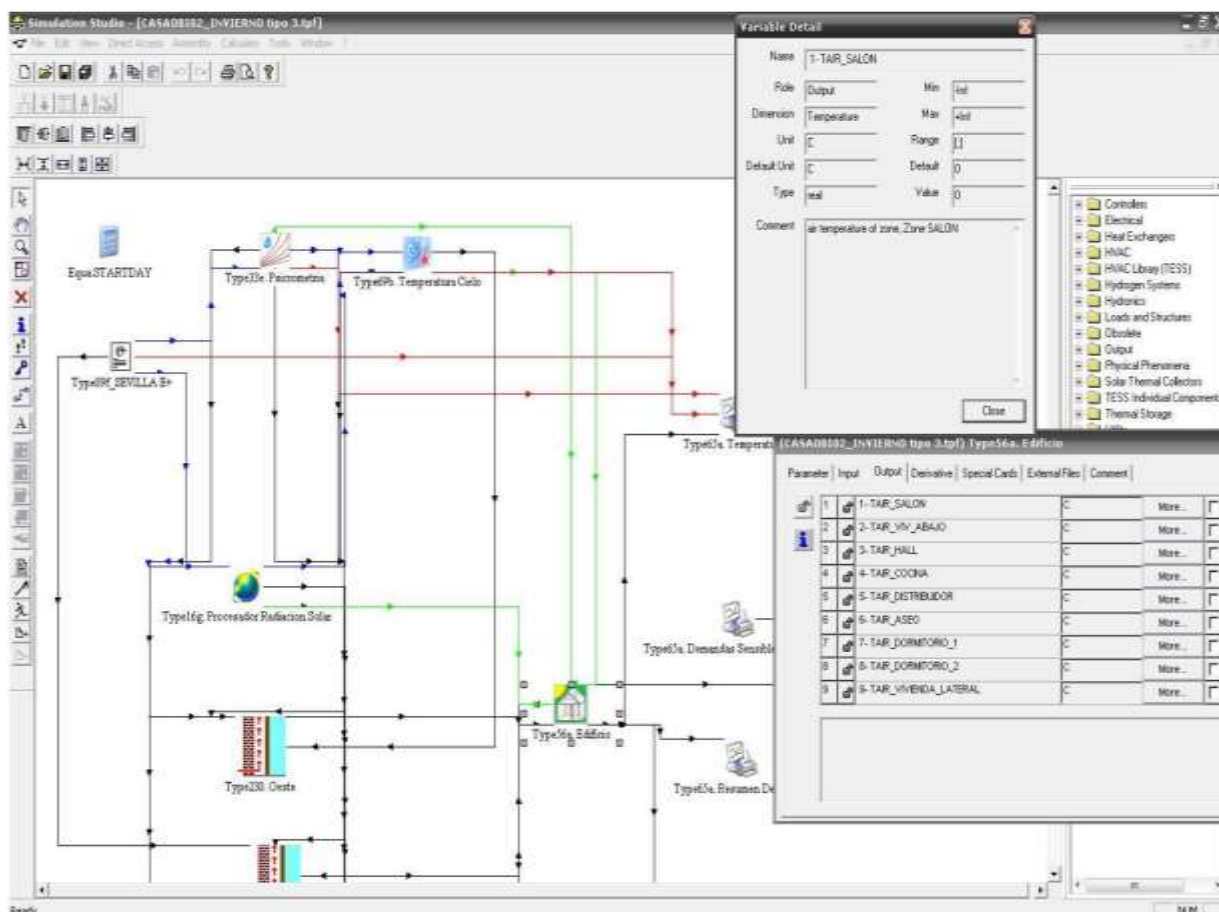
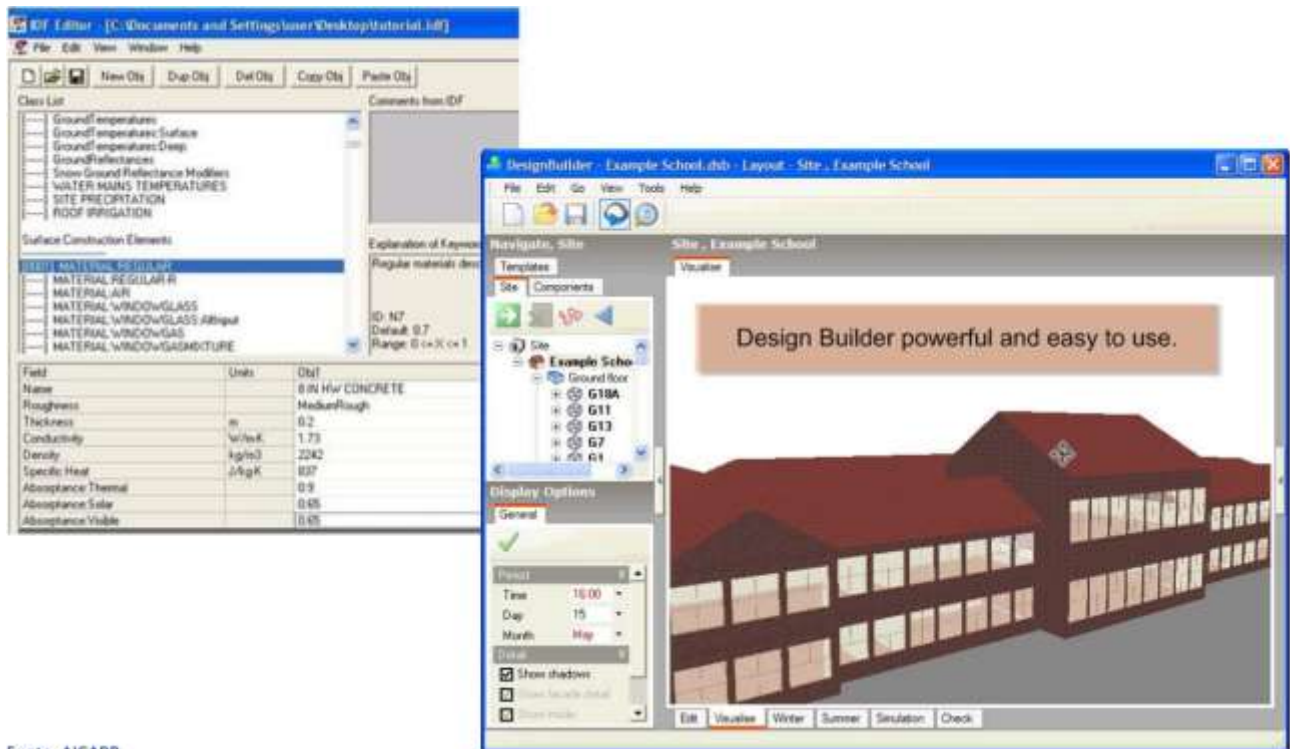


Figura 72: Programma di simulazione TRNSYS



Fonte: AIRCARR

Figura 73: Programma ENERGY PLUS con DESIGN BUILDER

Il programma TFM sarà discusso ampiamente nel Volume 2°.

8. INDAGINI ENERGETICHE SUGLI EDIFICI

Le procedure per la certificazione energetica prevedono due tipologie di valutazioni: una *a priori* di tipo progettuale e una seconda *a posteriori* per edifici già costruiti. Per questa seconda categoria di valutazioni è necessario conoscere le caratteristiche trasmissive dei componenti di involucro. In particolare occorre sapere il valore della trasmittanza di ogni componente, la presenza di isolante nelle pareti, eventualmente a cappotto, la presenza di ponti termici o di formazione di condensa. In pratica occorre spesso effettuare una diagnosi energetica al fine di migliorare la classe energetica proponendo interventi che riducano i consumi. Le diagnosi energetiche possono anche orientare il proprietario dell'immobile ad effettuare interventi utili in campo energetico, stimandone i costi e i conseguenti benefici dovuti, principalmente, alla rivalutazione economica dell'immobile. Questo capitolo parla proprio delle procedure di indagine non distruttiva (IND) mediante termografia o mediante l'utilizzo di altra strumentazione specifica. Questo tipo di indagine risulta fondamentale per fornire al certificatore informazioni sulla qualità energetica dell'involucro edilizio e per indicare le migliori procedure per migliorare le prestazioni energetiche e/o la classe energetica degli edifici esaminati.

8.1 LE INDAGINI ENERGETICHE

Si è più volte ripetuto che il certificatore energetico deve eseguire, oltre alla preparazione dell'attestato di certificazione energetica, anche un'indagine completa sul comportamento energetico dell'edificio.

Il D.Lgs. 115/2008 definisce **diagnosi energetica** una "*procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o di gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o di servizi pubblici e privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati.*"

Pertanto la diagnosi energetica entra a pieno titolo fra le attività del certificatore energetico al fine di certificare lo stato attuale delle performance energetiche dell'edificio e suggerire modalità e interventi per il miglioramento della classe energetica.

Si può dire che la diagnosi energetica è lo strumento più potente per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici esistenti. La diagnosi energetica, infatti, fornisce in modo certo lo stato di salute dell'edificio e dei suoi impianti. Essa è anche la base fondamentale per eseguire una corretta simulazione degli interventi necessari ed opportuni a migliorare l'efficienza energetica degli edifici.

Si osservi che ai sensi dell'art. 18, comma 3, del D.Lgs. 115/2008 la **certificazione energetica** si considera equivalente ad una **diagnosi energetica**.

I mezzi per compiere una corretta diagnosi energetica sono, principalmente:

- *acquisizione dei dati storici di consumo energetico;*
- *rilevamento dello stato degli impianti in termini di manutenzione, distribuzione e generazione del calore;*

- *rilevo, anche strumentale (ad esempio con termografia) delle strutture edilizie opache con verifica di eventuali punti critici (ad esempio mancanza di coibentazione, presenza di ponti termici, presenza di condensa, ..);*
- *verifica strumentale della trasmittanza termica delle strutture con il termo flussimetro;*
- *verifica dello stato delle superfici vetrate (vetri, serramenti, cassonetti, verifica della tenuta d'aria,...);*
- *verifica dell'impiantistica elettrica e in particolare dei corpi illuminanti e di sicurezza.*

I dati così ottenuti possono essere utilizzati per un'eventuale simulazione (mediante opportuni programmi) del comportamento dell'edificio sulla base delle norme UNI TS 11300.

Si ricordi che la diagnosi energetica propone indici di consumo legati all'energia primaria consumata (verifica *a posteriori*) riconducibile a centri di costo verificabili dall'utente. Possono in seguito ricercarsi le soluzioni tecniche per ottenere un risparmio energetico nei vari reparti impiantistici (conduzione e gestione dell'impianto) e nelle prestazioni energetiche dell'involucro edilizio (sia opaco sia vetrato). Infine, ove possibile, si può far ricorso all'utilizzo di energie rinnovabili (collettori solari per l'acqua calda sanitaria e pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica) per ridurre l'energia primaria dell'edificio.

L'allegato III della direttiva europea 2006/32/CE riporta un elenco descrittivo di esempi di misure di miglioramento dell'efficienza energetica ammissibili. Tali misure devono sempre tradursi in risparmi energetici verificati e stimati in conformità all'allegati IV della direttiva. Inoltre l'incidenza sul risparmio energetico delle misure proposte non deve essere stata conteggiata in altre misure specifiche.

Per i settori abitativi e terziari si prendono in considerazione:

- *il riscaldamento e il raffrescamento (ad esempio con pompe di calore, nuove caldaie più efficienti (in particolare quelle a condensazione);*
- *isolamento e ventilazione (ad esempio con isolamento delle pareti, dei tetti, sostituzione dei vetri normali con doppi e tripli vetri, utilizzo del riscaldamento e raffreddamento passivo,...)*
- *produzione di acqua calda sanitaria (ad esempio con l'installazione di nuovi dispositivi, uso diretto per lavatrici, ...);*
- *illuminazione (ad esempio con l'uso di nuove lampade e alimentatori a risparmio energetico, sistemi di controllo digitale, rilevatori di movimento negli impianti di illuminazione degli edifici commerciali, ...);*
- *cottura e refrigerazione (con l'utilizzo di nuovi apparecchi più efficienti, sistemi di recupero del calore, ...);*
- *attrezzature avanzate (ad esempio impianti di cogenerazione, sistemi di temporizzazione, riduzione delle perdite di energia in stand-by, riduzione della potenza reattiva, trasformatori a basse perdite, ..);*
- *uso di fonti di energia rinnovabile (sia termica che fotovoltaica).*
- *Nel settore industriale si può agire:*
- *nei processi di fabbricazione dei prodotti;*
- *sui motori e sistemi di trasmissione (ad esempio con l'uso di controlli elettronici, variatori di velocità, conversione di frequenza, motori elettrici ad alto rendimento, ...);*
- *sulle ventole e sui variatori di velocità;*
- *sulla gestione della risposta alla domanda (ad esempio sulla gestione del carico, ...);*
- *sulla cogenerazione ad alto rendimento.*

8.2 LA TERMOGRAFIA APPLICATA AGLI EDIFICI

Uno dei metodi non distruttivi più utilizzato è quello della termografia applicata agli edifici. Questa consente di "vedere attraverso" le strutture e i componenti edilizi fornendo mappe dettagliate sulla distribuzione della temperatura. Si tratta di informazioni preziose per la diagnosi energetica in quanto consentono di avere informazioni sugli isolamenti termici delle pareti, sui ponti termici, sulla presenza di umidità, ...

Per la piena applicabilità della termografia sono necessarie conoscenze sull'irraggiamento e sul comportamento radiativo dei corpi. Si rinvia ai richiami di trasmissione del calore per ogni riferimento concettuale e soprattutto per le unità di misura utilizzate.

8.2.1 LA FISICA DI BASE

Si è detto, parlando dell'irraggiamento, che ciascun corpo a temperatura superiore allo zero assoluto emette una radiazione elettromagnetica. Si è presentato il **corpo nero** come un corpo ideale capace di assorbire radiazioni di qualunque lunghezza d'onda. Per questo corpo ideale si è vista la legge di Planck che lega l'emissione monocromatica alla temperatura e alla lunghezza d'onda.

Per un corpo nero vale anche la legge di Wien che stabilisce una relazione di diretta proporzionalità fra la lunghezza d'onda di massima emissione e la temperatura:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2898 \quad [33]$$

L'importanza di questa relazione sta nell'osservare che da 0 a $5 \lambda_{\max}$ si ha in pratica il 97% della radiazione totale emessa dal corpo nero. Pertanto $\lambda_{\max}$ è un parametro sintetico di riferimento per comprendere la zona dello spettro interessata dall'emissione del corpo nero a una data temperatura. Così, ad esempio il sole appare come un corpo nero ideale avente una temperatura superficiale di 5780 K a cui corrisponde la $\lambda_{\max} = 0,5 \mu\text{m}$. Di conseguenza la radiazione solare è prevalentemente compresa fra 0 e $3 \mu\text{m}$.

La temperatura del corpo umano è pari a $36,6^\circ\text{C}$ cui corrisponde una $\lambda_{\max}$ pari a $9,36 \mu\text{m}$. Una parete con una temperatura di 18°C ha una $\lambda_{\max}$ pari a $9,96 \mu\text{m}$.

L'emissione globale del corpo nero, ottenibile integrando la relazione di Planck, ha un valore dato anche dalla legge di Stefan-Boltzmann:

$$E_n = \sigma_0 T^4 \quad [34]$$

con $\sigma_0 = 5,68 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$.

I corpi reali emettono in modo più complesso rispetto al corpo nero. Definendo emissività termica il rapporto, per data lunghezza d'onda:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{E_{\text{reale},\lambda}}{\sigma_0 T^4} \quad [35]$$

ove a denominatore si ha l'emissione globale del corpo nero. Dalla precedente relazione si ha:

$$E_{\text{reale}} = \varepsilon \sigma_0 T^4 \quad [36]$$

ove si è considerata la emissività totale ε .

I corpi reali non sono assorbitori integrali, come il corpo nero, ma riflettono parte dell'energia ricevuta. Se indichiamo con G l'irradianza, cioè l'energia ricevuta per unità di superficie, si definisce **radiosità** la somma:

$$J_i = \rho_i G_i + \varepsilon_i E_{ni} \quad [37]$$

ove si ha il seguente simbolismo:

- J *radiosità, [W/m²]*
- ρ *fattore di riflessione della parete,*
- ε *emissività termica della parete,*
- E_{ni} *emissione globale del corpo nero alla medesima temperatura della parete, [W/m²].*

Ricordando che dalla: $\rho + \alpha + \tau = 1$ per un corpo opaco ($\tau = 0$) e grigio ($\alpha = \varepsilon$), si ha $\rho = 1 - \alpha = 1 - \varepsilon$, allora risulta:

$$J_i = (1 - \varepsilon_i) G_i + \varepsilon_i E_{ni} \quad [38]$$

Come ben si può osservare la radiosità di un corpo, che la grandezza rilevata dalla termo camera, dipende dall'emissività del corpo stesso. Ricordando che $E_{ni} = \sigma_0 T^4$ si intuisce che, nota J_i e l'emissività ε_i , si può calcolare T dalla precedente equazione. In Tabella 37 sono riportati i valori dell'emissività di alcuni corpi di comune uso.

Si osservi che per la misura della temperatura T è importante la conoscenza di ε e per questo motivo le macchine termografiche moderne hanno già installato, nel loro software di gestione, un data base delle emissività dei materiali più comuni. Resta sempre la possibilità di stabilire manualmente l'emissività qualora non reperibile nel data base.

materiale	temperatura (K)		
	300	500	800
alluminio (lucidato)	0,04	0,04	0,06
alluminio (ossidato)	0,09	0,12	0,17
cromo (lucidato)	0,08	0,17	0,27
rame (lucidato)	0,02	0,02	0,03
rame (ossidato)	0,56	0,61	0,83
acciaio (lucidato)	0,07	0,10	0,14
acciaio (ossidato)	0,79	0,79	0,79
ferro (ruggine)	0,70	—	—
mercurio (liquido)	0,02	0,02	0,03
argento (lucidato)	0,02	0,02	0,03
tungsteno (lucidato)	0,04	0,06	0,08
idem – filamento lampade	0,32	0,32	0,32
nerofumo	0,96	0,96	0,97
tessuto d'amianto	0,93	0,94	0,94
vetro di quarzo	0,93	0,89	0,68
intonaco di gesso	0,92	0,92	—
mattone in laterizio	0,93	—	—
gomma	0,86-0,94	—	—
acqua liquida (strato spesso)	0,96	—	—
marmo (grigio chiaro lucidato)	0,93	—	—
legno di quercia (piallato)	0,90	—	—

Tabella 37: Valori di emissività di alcuni corpi

8.2.2 FUNZIONAMENTO DELLE MACCHINE TERMOGRAFICHE

Con il termine *termografia* s'intende l'uso di telecamere sensibili all'infrarosso per visualizzare e/o misurare l'energia termica emessa da un oggetto.

Ogni oggetto con temperatura maggiore dello zero assoluto, emette calore; più è alta la temperatura dell'oggetto, maggiore è la radiazione IR emessa.

Le telecamere a infrarosso o termo camere visualizzano quello che l'occhio umano non può vedere e permettono precise misure non a contatto di temperatura.

Una termo camera è un dispositivo che visualizza l'energia **infrarossa** (campo termico) non a contatto e la converte in segnale elettrico. Questo segnale è poi processato per produrre un'immagine su un monitor per ottenere una misura di temperatura.

In pratica la termo camera è dotata di un filtro che fa passare le radiazioni comprese in un certo intervallo di lunghezza d'onda. In particolare si hanno quattro campi di utilizzo:

- - *infrarosso vicino* da $0.78 \mu\text{m}$ a $2 \mu\text{m}$
- - *infrarosso medio* da $2.0 \mu\text{m}$ a $6 \mu\text{m}$
- - *infrarosso lontano* da $6.0 \mu\text{m}$ a $15 \mu\text{m}$
- - *infrarosso estremo* da $15.0 \mu\text{m}$ a $1000 \mu\text{m}$

Il campo di applicazione della termografia per l'edilizia è quello da 6 a $15 \mu\text{m}$ (infrarosso lontano) corrispondente ad un campo di temperatura da 482 K (cioè circa 210°C) a 193 K (cioè -80°C).

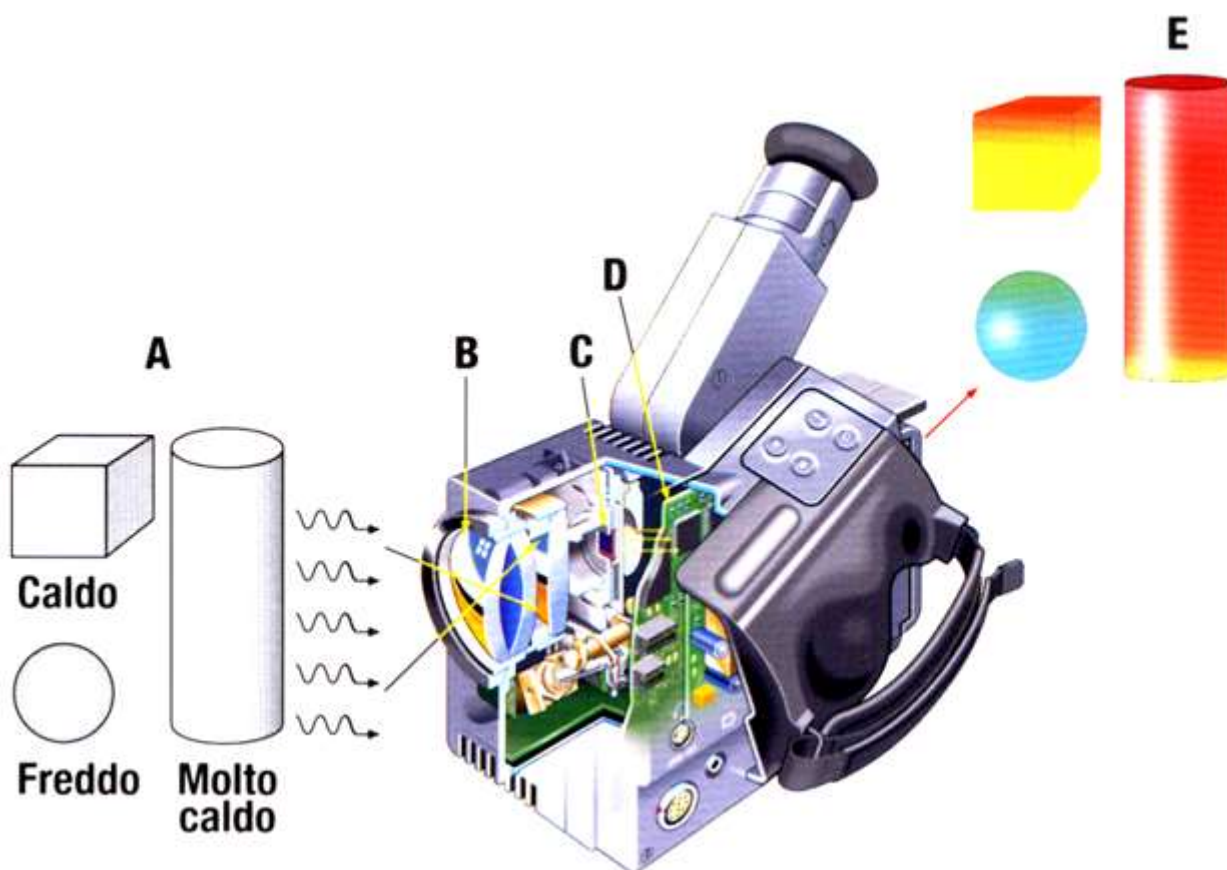


Figura 74: Camera termografica

Schematicamente, un'apparecchiatura per termovisione è costituita da una telecamera sensibile alla radiazione infrarossa.

L'energia infrarossa, vedi Figura 74, (A) proveniente da un oggetto, è concentrata dalla parte ottica (B) su un fotosensore (C) sensibile alla radiazione infrarossa. Attraverso un'opportuna

elettronica (D) di gestione e controllo, i fotoni incidenti sul fotosensore sono elaborati in modo da formare un'immagine (E), chiamata termogramma, che può essere elaborata e visualizzata da un personal computer. Il termogramma può essere visualizzato mediante una scala di colori, vedi Figura 75. In questo modo, possiamo percepire naturalmente quali colori sono caldi (rosso e bianco) e quali sono freddi (blu e verde). Pertanto il termogramma a colori ci dà una "sensazione" immediata delle differenze di temperatura all'interno dell'immagine stessa.

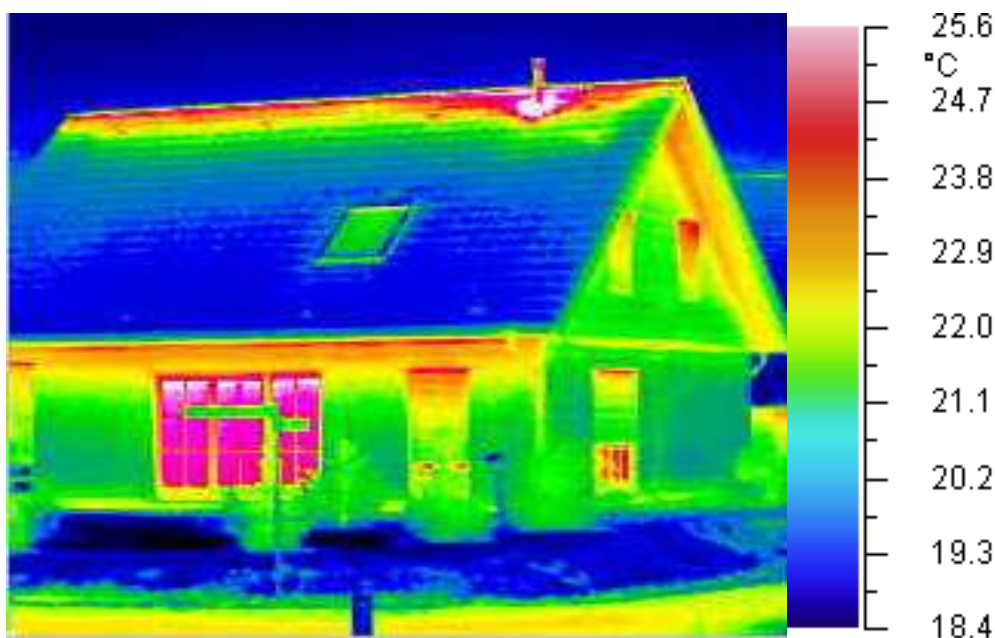


Figura 75: Termogramma con scala di riferimento della temperatura

L'energia emessa da una superficie sarà raccolta dallo strumento sensibile alla radiazione IR passando attraverso l'atmosfera che è il mezzo di propagazione della radiazione. Tuttavia l'atmosfera non è uniformemente trasparente all'infrarosso, Figura 76.

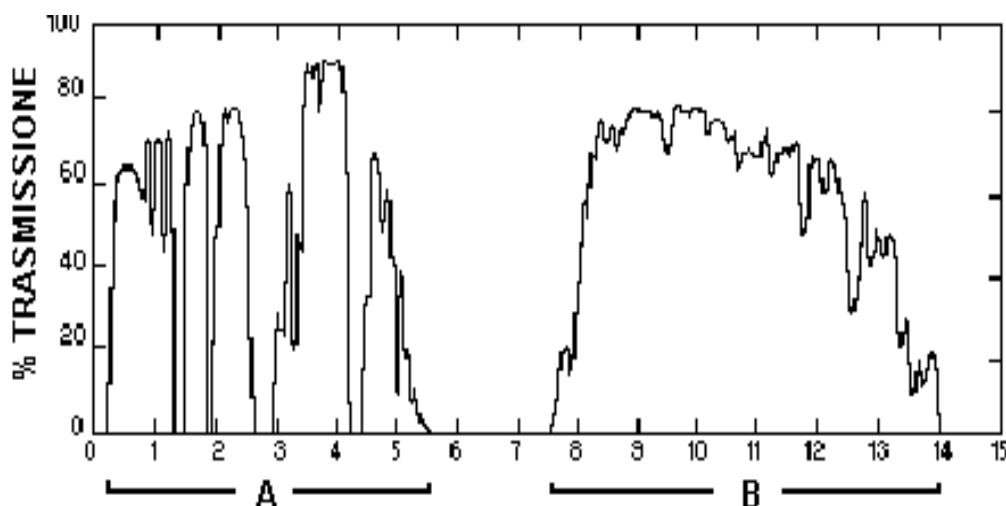


Figura 76: Fattore di trasmissione dell'atmosfera all'IR

Dalla figura precedente si nota che la propagazione dell'infrarosso avviene prevalentemente in due finestre atmosferiche:

- finestra da 3 a 5 micron
- finestra da 8 a 12 micron.

Nella banda bassa saranno meglio evidenziati i corpi ad elevata temperatura (termo camere Short Wave).

Nella banda alta saranno meglio evidenziati i corpi a bassa temperatura (termo camere Long Wave). Tra le due finestre c'è una zona relativamente opaca compresa tra 5.6 e 7.5 μm , dovuta all'assorbimento da parte delle molecole dell'**acqua** presenti in atmosfera.

La minore trasparenza all'infrarosso della prima finestra atmosferica è dovuta alla presenza di alcuni componenti dell'aria che costituisce l'atmosfera. La seconda finestra atmosferica ha invece una trasmissione che raggiunge un valore medio dell'80% e non presenta zone di opacità ed è per questo che risulta più indicata per le riprese a grandi distanze.

Quando si utilizza un sistema di ripresa termografica per misurare la temperatura, è necessario considerare la **radiazione di fondo**, specialmente nel caso si debba misurare la temperatura di un oggetto a bassa emissività, poiché detta radiazione è riflessa dalla superficie di cui si vuole misurare la temperatura.

Nei sistemi termografici moderni spesso il valore della radianza di fondo è misurata automaticamente da un sensore posto all'interno della telecamera, che converte tale temperatura in un valore digitale che è inserito nell'algoritmo per il calcolo della temperatura.

Tale soluzione soddisfa normalmente tutte le situazioni di misura, ma può essere impreciso nei casi in cui la radiazione di fondo è molto differente dal valore medio misurato dalla telecamera.

È importante notare che spesso la radiazione di fondo non è costante e valutabile anche da un operatore esperto.

Un chiaro esempio è il caso di un soffitto con diverse lampade ad incandescenza che oltre ad emettere luce emettono una radiazione di fondo. Anche spegnendo dette lampade, esse hanno un raffreddamento lento che crea una variazione nel tempo della radiazione di fondo.

Quando si vuole misurare la temperatura di superfici a bassa emissività, conviene, se facilmente realizzabile, schermare le fonti di calore mediante pannelli isolanti.

Nel caso d'ispezione termografica all'aperto la radiazione di fondo è la volta celeste, il sole, il terreno. Anche in questo caso non è facilmente quantificabile la radiazione di fondo, di solito conviene utilizzare il valore calcolato dal sensore all'interno della telecamera.

Metodi per evitare le riflessioni

Le riflessioni recano disturbo alle misure termografiche. Per evitarle si possono seguire alcuni criteri euristici:

- *Modificare l'emissività della superficie dipingendola di nero opaco, o collocando targhette adesive o nastri adesivi neri con emissività nota.*
- *Effettuare le riprese con fonti di calore o il sole che non riflettano sulla superficie in esame.*
- *Schermare, se è possibile, con pannelli isolanti (in legno, polistirolo ecc.) le sorgenti estranee.*
- *Effettuare le riprese all'aperto nelle ore senza sole (mattino presto, sera di notte.) utilizzando, se possibile, telecamere Long Wave (8-12 μm) invece delle Short Wave (3-5,5 μm) poiché nella banda Short Wave il sole emette 30 volte più energia che in quella Long Wave*

Metodi di indagine

Si possono seguire due metodi di indagine e in particolare:

- **Passivo:** *sfrutta le radiazioni solari e consente una valutazione superficiale (fino alla profondità di pochi centimetri).*
- **Attivo:** *sfrutta l'irradiazione artificiale in modo che il calore interessi l'interno dell'oggetto esaminato, consentendo di indagare strati collocati in profondità (10 - 20 cm).*

Operatività delle termo camere

Le termo camere moderne possono eseguire numerose funzioni e in particolare:

- *Eseguono ispezioni senza perturbare il sistema;*
- *Presentano in tempo reale il calore prodotto;*
- *Misurano la temperatura senza contatto;*
- *Producono un'immagine che equivale all'utilizzo contemporaneo di migliaia di termocoppie o pirometri;*
- *Identificano e localizzano il problema;*
- *Salvano le informazioni;*
- *Individuano i problemi prima che si verifichino i guasti;*
- *Consentono un risparmio di tempo e denaro;*

Le specifiche tecniche fondamentali per una termo camera con sensore microbolometrico non raffreddato sono le seguenti:

- *Tipo di sensore*
- *Numero pixel del sensore*
- *Risoluzione termica*
- *Risoluzione spaziale o geometrica*
- *Frequenza immagine*
- *Immagine visibile*
- *Elementi ausiliari inclusi (illuminatori, laser, registrazione commenti vocali ecc.)*
- *Materiale costitutivo*
- *VOx (Ossido di Vanadio)*
- *aSi (Silicio Amorfo)*

Il sensore microbolometrico ha la funzione di trasformare l'energia Infrarossa che colpisce ogni singolo elemento del sensore in una grandezza fisica misurabile. In particolare il sensore varia il proprio valore di resistenza elettrica, in funzione dell'energia IR, quindi temperatura dell'oggetto inquadrato; detta variazione è letta dal circuito di misura integrato "ROIC" (*ReadOut Integrated Circuit*) e mediante una tabella di calibrazione è calcolata la temperatura. Sul mercato industriale esistono vari tipi di strumentazione termografica esistono termo camere con sensori aventi differente numero di pixel. I sensori principalmente utilizzati in termografia sono:

- *80x80 pixel*
- *160x120 pixel da cui derivano 120x120 pixel*
- *140x140 pixel*
- *320x240 pixel da cui derivano 180x180 pixel*
- *200x150 pixel*
- *640x480 pixel.*

La risoluzione termica di un'immagine termografica indica il minimo delta T misurabile dalla termo camera. Sotto sono riportate due immagini riprese con termo camere aventi differente risoluzione termica.

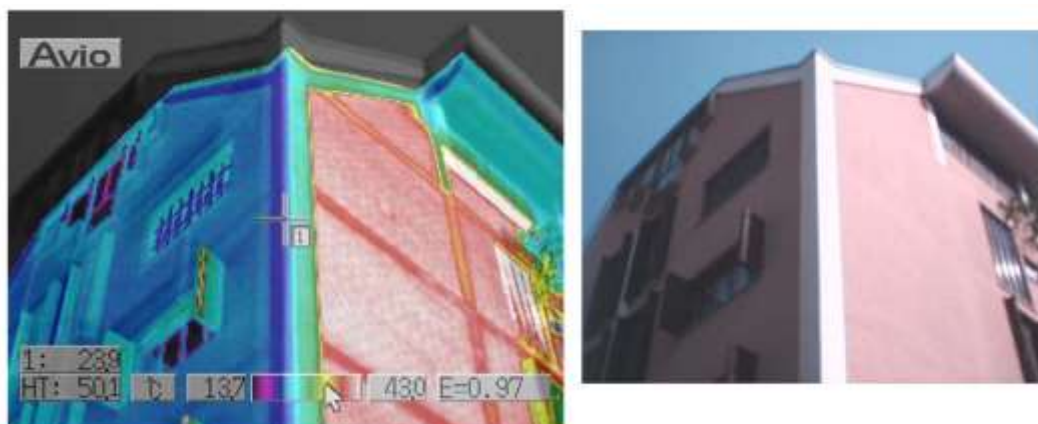


Figura 77: Ripresa contemporanea della termografia e della fotografia

Ogni obiettivo ha una risoluzione geometrica che definisce le dimensioni dell'oggetto più piccolo di cui si può misurare la temperatura alle varie distanze. La risoluzione si esprime in mrad. e permette in modo semplice di ottenere la dimensione corrispondente ad un pixel alle varie distanze. Un obiettivo con risoluzione geometrica 1,4 mrad. permette di misurare un oggetto con le dimensioni minime pari a:

$$\text{risoluzione in mm.} = (1,4 \times \text{distanza in metri})$$

La ripresa contemporanea dell'immagine infrarosso e visibile permette di avere un'interpretazione più facile nel rapporto d'ispezione termografico.

8.3 COMPONENTI DELL'ENERGIA IRRADIATA

Si osservi che la telecamera rivela la radiosità della superficie sotto obiettivo. Le conseguenze del valore dell'emissività sulla misura di temperatura dello stesso oggetto ripreso con due immagini termiche che, a parità di tutte le altre impostazioni (temp. riflessa, obiettivo, distanza ecc.), è notevole.

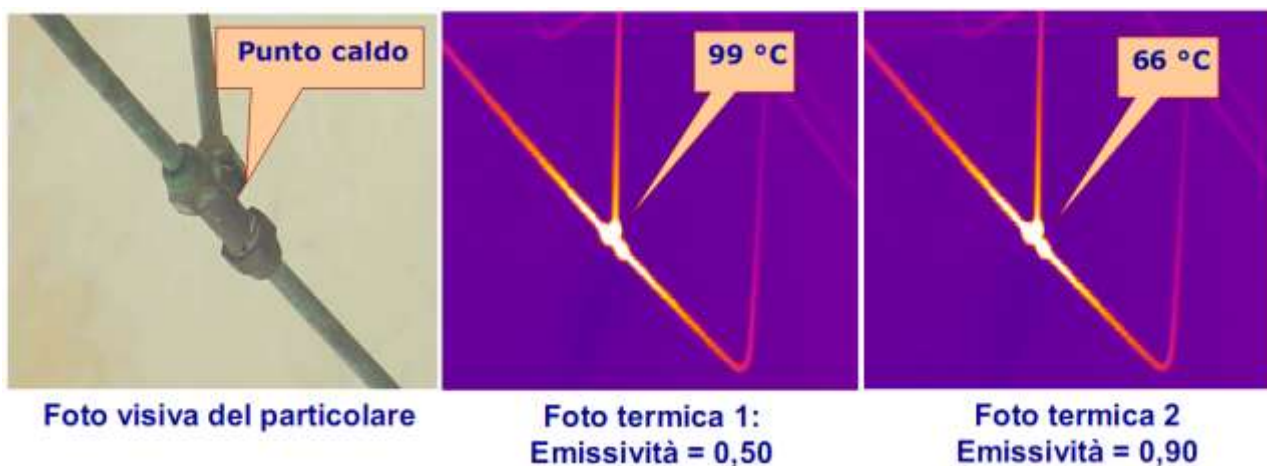


Figura 78: Influenza del valore dell'emissività sulla temperatura misurata

In genere ϵ dipende dal materiale di cui è composto l'oggetto (valori tabulati). Per corpi non trasparenti $\tau = 0$, ne segue che $\epsilon + \rho = 1$, quindi più ϵ è bassa e più la misura è influenzata dall'ambiente che circonda l'oggetto.

Utilizzando un oggetto specchio ($\epsilon = 0$) si può misurare la componente dovuta all'ambiente (e quindi ρ). Una volta impostati questi valori, la termo camera è in grado di effettuare una misura precisa della temperatura dell'oggetto. Si osservi che l'immagine all'infrarosso può visualizzare componenti che non appaiono temporaneamente visibili, come rappresentato nella figura

seguente. La termografia normalmente permette di identificare l'anomalia mediante paragone delle temperature o distribuzioni termiche non regolari o senza alcuna ragione d'essere.

Con la termografia è possibile individuare isolamenti deteriorati. La differenza di conducibilità termica o capacità termica appare sul termogramma come differenza di temperatura.

8.4 APPLICAZIONI DELLA TERMOGRAFIA NELL'EDILIZIA

In questa categoria rientra l'ispezione di edifici civili (isolamento termico) che può essere eseguita dall'interno o dall'esterno dell'abitazione. E' in genere conveniente che l'edificio sia riscaldato a una temperatura di minimo circa $10 \div 15^{\circ}\text{C}$ superiore a quella esterna poiché così è possibile localizzare infiltrazioni d'aria fredda o difetti d'isolamento.

Inoltre è indispensabile che le superfici esterne non abbiano subito un soleggiamento e che non piova sulle facciate.

Tipiche applicazioni riguardanti gli edifici sono: la rilevazione dei difetti o il cattivo funzionamento delle serpentine di riscaldamento nel pavimento (perdite di acqua calda), il controllo dell'isolamento delle pareti esterne e la rilevazione delle infiltrazioni d'acqua negli isolamenti dei tetti. La termografia può essere utile per analizzare i ponti termici, per individuare infiltrazioni di umidità o, ancora, per misurare i coefficienti di trasmissione termica delle pareti, come rappresentato in Figura 80. Si possono rilevare anche presenze di umidità nelle pareti, come indicato in Figura 81.

8.4.1 NORMATIVA UNI DI RIFERIMENTO

La norma UNI EN 13187 definisce un metodo qualitativo che utilizza un esame termografico, per la rilevazione delle irregolarità termiche degli involucri edilizi.

Essa si applica alla determinazione della posizione delle irregolarità termiche e delle infiltrazioni di aria attraverso un involucro edilizio. La norma non si applica alla determinazione del livello di isolamento termico e della tenuta all'aria di una struttura edilizia.

NORMA ITALIANA	Prestazione termica degli edifici Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi Metodo all'infrarosso	UNI EN 13187
		OTTOBRE 2000
	Thermal performance of buildings Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes Infrared method	

Figura 79: Norma UNI EN 13187



Figura 80: Termografia di una facciata

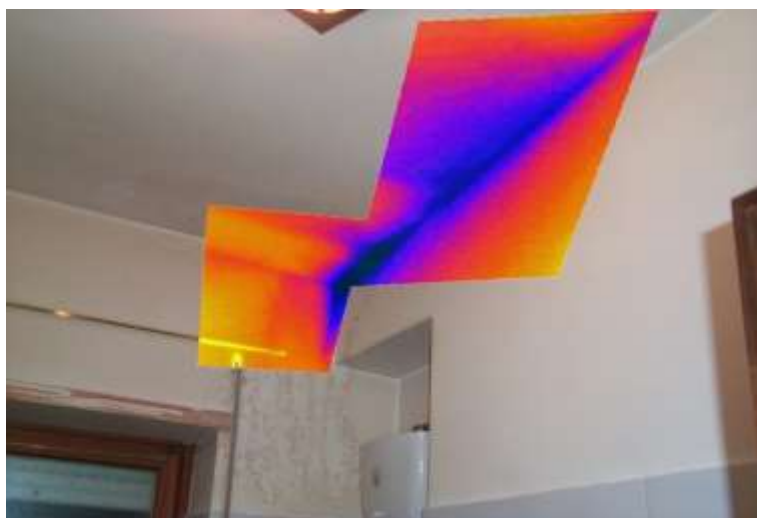


Figura 81: Rilevamento dell'umidità mediante termografia

8.4.2 REQUISITI DI PROVA PER L'ANALISI TERMOGRAFICA

- a) Per almeno 24 h prima dell'inizio della prova, la temperatura dell'aria esterna non deve essere maggiore di oltre $\pm 10^{\circ}\text{C}$, rispetto alla temperatura all'inizio della prova. Per struttura pesanti con grande massa termica, è necessario tenere conto degli effetti di immagazzinamento di calore.
- b) Per almeno 24 h prima dell'inizio della prova, e durante la prova stessa, la differenza di temperatura dell'aria attraverso l'involucro edilizio non deve essere minore del valore numerico di $3/U$, dove U rappresenta il valore teorico del coefficiente di trasmissione termica della parete, espresso in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ e comunque mai minore di 5°C .

- c) Per almeno 12 h prima dell'inizio della prova e durante la prova, le superfici dell'involucro in esame, non dovrebbero essere esposte alla radiazione solare diretta.
- d) Durante la prova, la temperatura dell'aria esterna ed interna non devono variare, rispetto ai valori rilevati all'inizio della prova, di oltre $\pm 5^{\circ}\text{C}$ e $\pm 2^{\circ}\text{C}$ rispettivamente. Gli effetti delle variazioni di temperatura durante la prova, possono essere verificati sovrapponendo l'immagine definitiva e quella iniziale. Se la variazione è minore di 1°C o 2°C , il requisito di prova si considera soddisfatto.

La termografia eseguite nelle condizioni ottimali consente di ottenere numerose informazioni utili per l'analisi energetica.

Ad esempio, una parete esterna sottoposta a irraggiamento solare restituisce un termogramma che visualizza un'immagine con i ponti termici e la struttura dell'opera muraria.

Si possono avere possibili errori ad esempio per effetto di radiazioni riflesse, come mostrato in Figura 83. In Figura 84 è perfettamente visibile sopra la finestra a destra una zona mal isolata con uscita del calore attraverso il cassonetto.

I ponti termici (zone fredde) possono essere facilmente visualizzati mediante la termografia. In genere in corrispondenza dei ponti termici si possono avere zone di formazione di condensa superficiale o interstiziale.

In genere la termografia consente un'analisi energetica qualitativa, cioè basata sul confronto fra zone adiacenti (più calde o più fredde).

E' bene non affidarsi molto sui valori assoluti delle grandezze rilevate (temperature) poiché possono esserci errori dovuti all'emissività delle superfici.

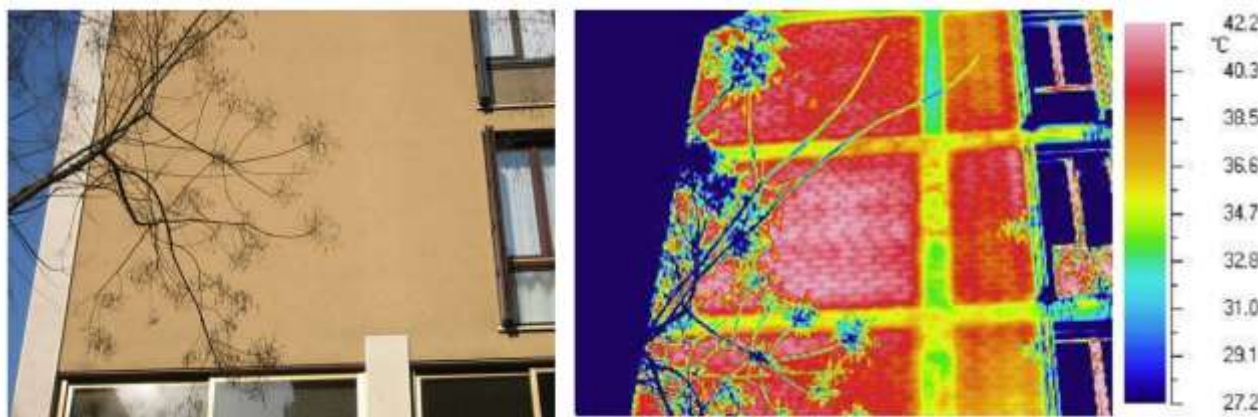


Figura 82: Evidenziazione dei ponti termici in una parete

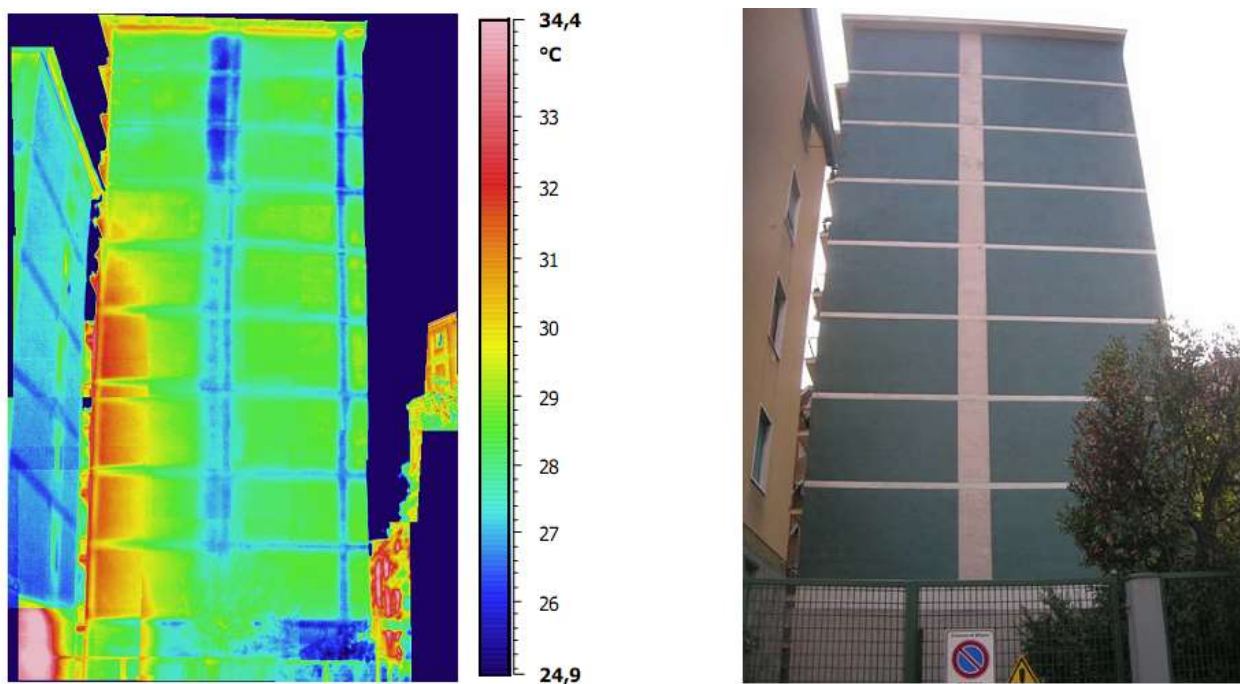


Figura 83: Errore dovuto alla radiazione riflessa

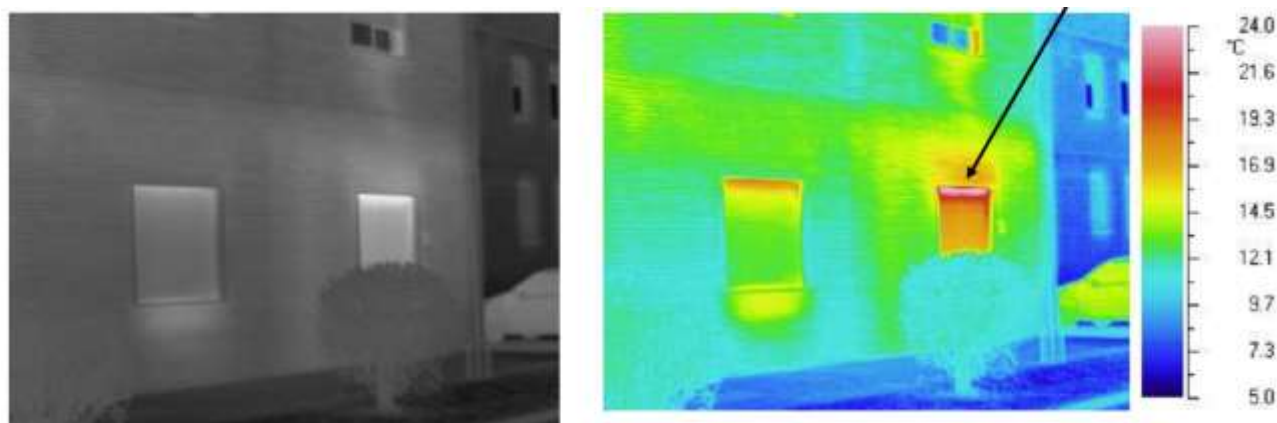


Figura 84: Visualizzazione di un difetto di isolamento

Occorre prestare attenzione a inquadrare superfici vetrate poiché queste riflettono i raggi infrarossi e quindi consentono di visualizzare immagini riflesse di nuvole, di edifici circostanti, ...

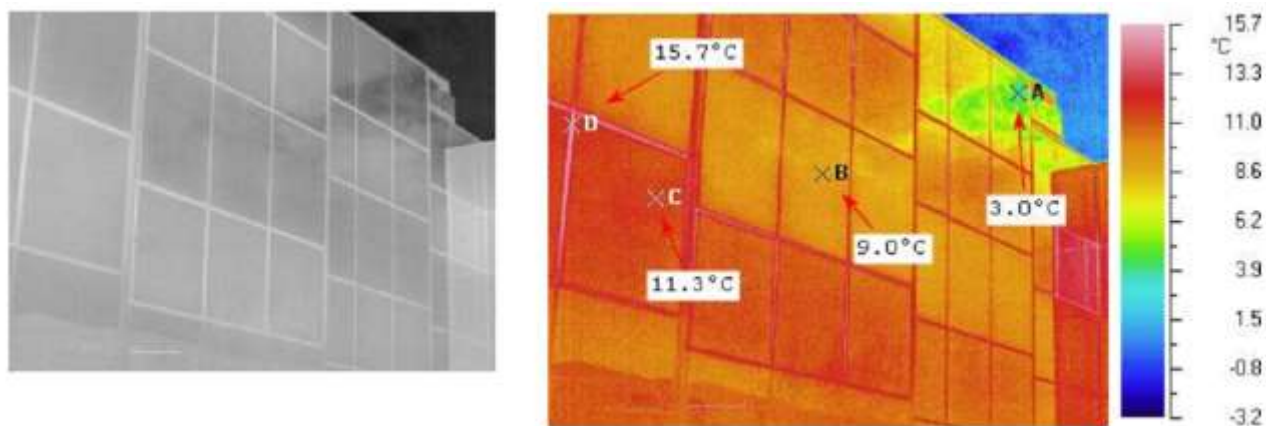


Figura 85: Termografia di superfici vetrate

Con la funzione “*Fusion*” è possibile sovrapporre l’immagine visibile con l’immagine infrarosso per individuare perfettamente le aree d’interesse per l’indagine.

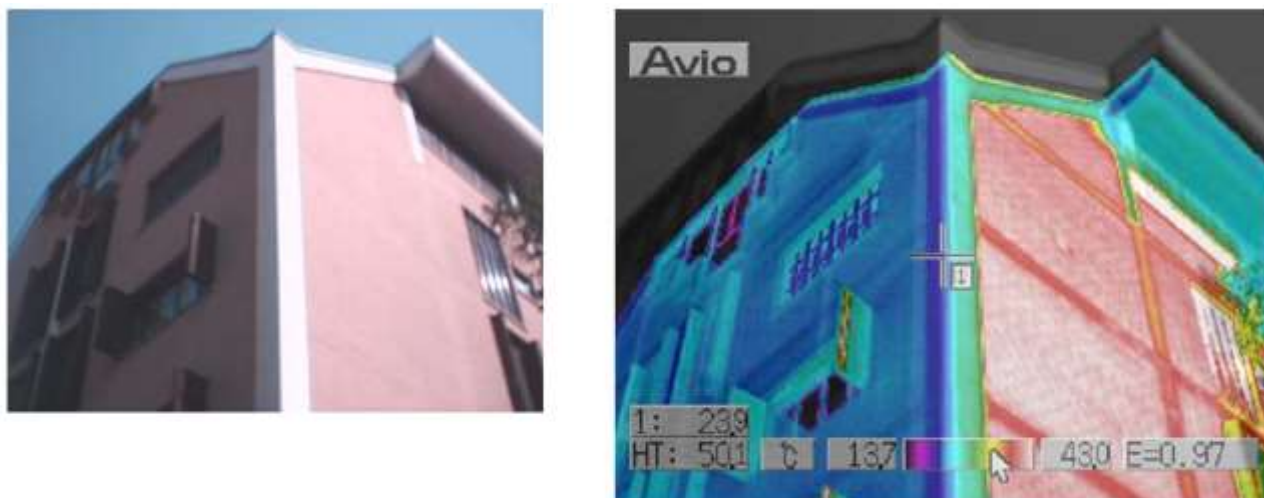


Figura 86: Sovrapposizione di un'immagine termografica e di una fotografica

La verifica di isolamento è possibile in modo diretto con la termografia:



Figura 87: Esempio di verifica di isolamento con termografia

Allo stesso modo si possono individuare le tubazioni di acqua calda.

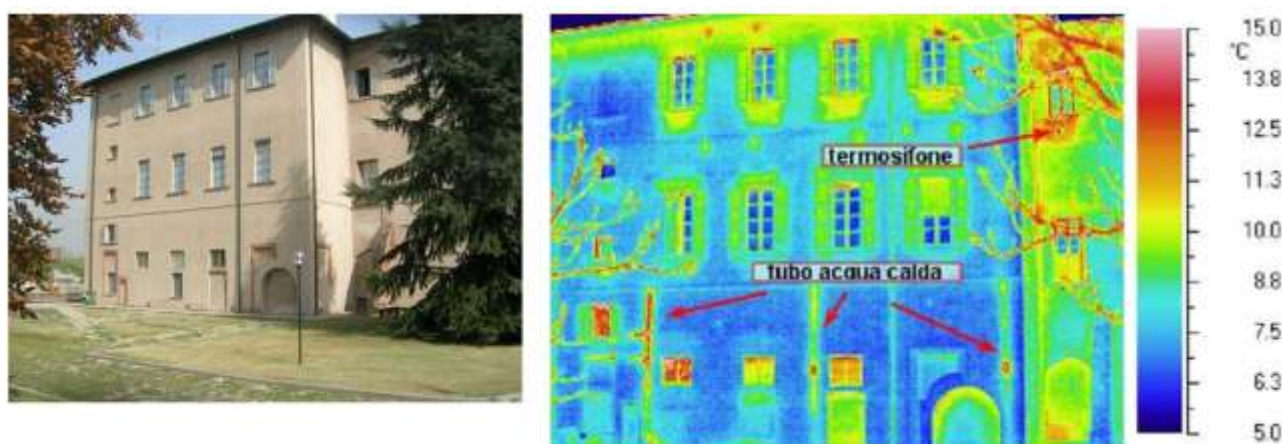


Figura 88: Immagine termografica delle tubazioni di acqua calda

8.5 MISURATORI DI FLUSSO TERMICO

Per rilevare *in situ* la trasmittanza termica dei componenti di involucro si utilizza un particolare strumento detto **Termo flussimetro**.

Si tratta di uno strumento che consente di misurare, in modo non distruttivo come la termografia, l'esatto isolamento termico di una parete verticale o di un tetto.

La strumentazione deve essere conforme alla normativa ISO 9869 e si compone di un data - logger per la registrazione dei dati misurati, di una piastra flussimetrica e di quattro sonde a contatto per la misura della temperatura delle pareti, sia interne che sterne.

Si osservi che per avere indicazioni corrette la prova deve avere una durata di almeno tre giorni consecutivi, in funzionamento continuo, come indicato dalla normativa ISO 9869.

8.5.1 PROCEDURA OPERATIVA

Il coefficiente di trasferimento del calore, altresì detto anche trasmittanza, è la misura del flusso termico che per una differenza di temperatura di 1 Kelvin fluisce attraverso 1 m² di materiale.

L'unità di misura è: W/m^2K .

Il fabbisogno termico di un fabbricato sia in termini di valori di picco che in termini di fabbisogno annuo dipende dall'isolamento termico del fabbricato stesso in rapporto alle condizioni climatiche della località in cui il fabbricato è sito. Nel calcolo dell'isolamento termico entrano in gioco le geometrie dei fabbricati stessi ed i relativi ponti termici oltre al valore di trasmittanza delle singole pareti o superfici vetrate che compongono l'involucro esterno del fabbricato.

Per calcolare il fabbisogno termico di un fabbricato, occorre determinare il valore U delle differenti parti costruttive che devono rientrare secondo le zone climatiche e in funzione di coefficienti correttivi riportati nelle norme attuative entro determinati limiti

Più è piccolo il valore U del componente e minori sono le dispersioni, come indicato dal D.lgs. 192/05 e s.m.i.

Ci sono due differenti coefficienti applicabili per determinare le qualità isolanti dei materiali. A volte confusi fra loro. Il valore λ (Lambda) che non considera lo spessore del materiale isolante. Solo indicando lo spessore del materiale (ad esempio 5 centimetri) ed il suo valore Lambda (ad esempio lana) si può calcolare il valore U e determinare il potere isolante.

Il valore U corrisponde invece al prodotto finito. Ad esempio un mattone oppure una finestra.

In pratica il valore U è maggiormente indicativo poiché non riferisce alla materia prima ma al prodotto finito.

Una metodologia di calcolo è ad esempio fornita dalla norma UNI EN ISO6946. Conoscendo i valori di λ di ciascun singolo strato costituente la struttura di una parete costituita da strati omogenei, oppure il valore U dei singoli strati non omogenei, è possibile determinarne il valore U complessivo semplicemente sommando la resistenza termica dei singoli strati costituenti la parete (compresi eventuali interstizi di aria) e le resistenze superficiali interne ed esterne delle pareti.

Per dettagli sul calcolo della trasmittanza di una parete si rimanda alla suddetta norma, già tratta in precedenza.

In pratica, con riferimento alla Figura 89, si ha:

$$q = \frac{T_i - T_e}{R}$$

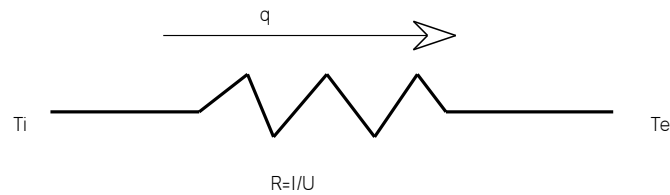


Figura 89: Schematizzazione termo elettrico del flusso di parete

$$q = \frac{T_i - T_e}{R}$$

da cui si ricava:

$$R = \frac{T_i - T_e}{q}$$

Poiché è:

$$R = \frac{1}{U}$$

ne deriva che:

$$U = \frac{q}{T_i - T_e}$$

Pertanto si può calcolare la trasmittanza U una volta note le temperature interna ed esterna e misurato il flusso termico q.



Figura 90: Posizionamento delle sonde a contatto

Per una misura corretta occorre rispettare almeno alcuni accorgimenti di base nel posizionamento delle sonde e nelle condizioni di prova Vale a dire:

- Far aderire bene le sonde alla parete interna, vedi Figura 90;
- Una differenza termica tra interno ed esterno di almeno 15°C

- Condizioni interne ed esterne il più possibile costanti nel tempo (ambiente interno climatizzato);
- Posizionamento sonde interna ed esterna in luogo protetto da sorgenti termiche calde o fredde alla stessa altezza delle sonde apposte sulla parete ed a distanza di almeno 30 cm dalla parete interna (lo stesso vale per l'esterno);
- Durata consigliata della prova, minimo una notte. Ma maggiore è il numero di dati validi a disposizione e migliore sarà il risultato.

Per evitare di posizionare le sonde in punti anomali (ad esempio per la presenza di ponti termici o assenza dell'isolante) allora si può preventivamente effettuare un'indagine termografica, come descritto in precedenza.

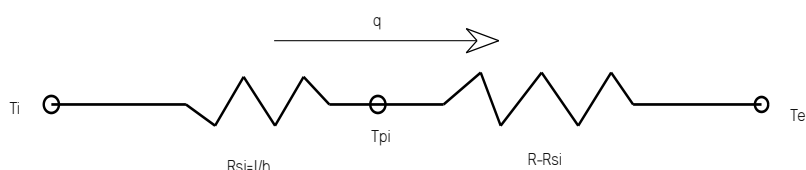


Figura 91: Metodo della resistenza laminare



Figura 92: esempio di applicazione delle sonde per il termo flussimetro

Metodo della resistenza laminare

Con riferimento alla Figura 91, conoscendo il coefficiente di resistenza superficiale interna (rif tabella estratta dalla norma UNI6946) e la temperatura di parete interna è possibile calcolare:

$$q = \frac{T_i - T_{pi}}{R_{si}} = h_i (T_i - T_{pi})$$

Dalla UNI EN ISO 6946 si ha la seguente Tabella 38 per i fattori liminari interni.

	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tabella 38: Resistenza termiche superficiali (m^2K/W)

Normalmente i dati maggiormente affidabili sono quelli relativi alle prime ore del mattino prima del sorgere del sole.

Accorgimenti

- *Scartare i dati iniziali che sono influenzati dalla stabilizzazione di sensori e considerare solo i dati che mostrano un andamento stabile;*
- *Considerare influenze esterne nel corso della prova: presenza di sole, pioggia, vento ed altri fattori esterni*
- *Considerare fenomeni di accumulo termico della parete e prendere in considerazione solo i dati che non sono riconducibili a tale effetto.*

Incertezza

Pur operando al meglio all'incertezza propria dell'apparecchiatura si sommano le molte incertezze legate alle condizioni di prova. E' quindi fondamentale l'esperienza interpretativa sui dati rilevati in funzione delle condizioni di prova. Si osservi che l'errore dovuto alle condizioni di prova reale rispetto a prove da laboratorio può essere anche dell'ordine del 15%.

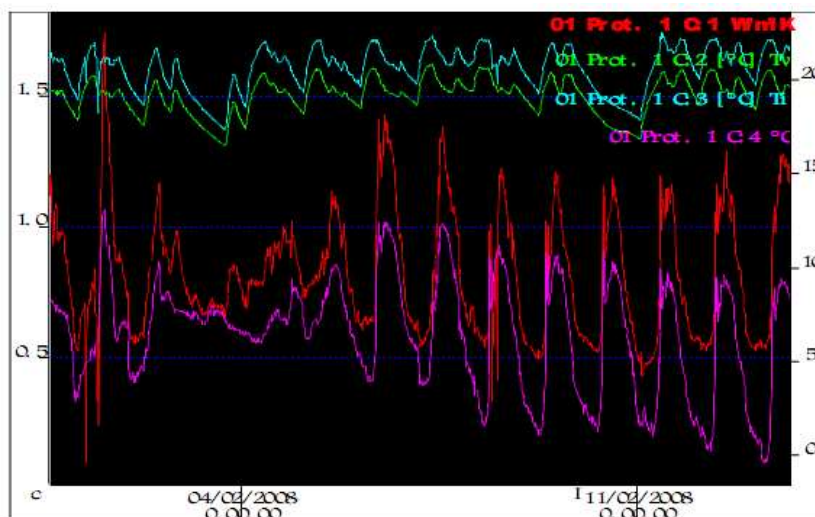


Figura 93: Andamento tipico dei dati per il rilevamento della temperatura interna

8.6 CONSIDERAZIONI SUGLI STRUMENTI DI DIAGNOSI ENERGETICHE

Sia le prove termografiche che quelle termoflussimetriche sono molto dipendenti dalla precisione della strumentazione, dalla perizia dell'operatore e, soprattutto, dalle condizioni operative in cui si opera per le misure.

Spesso si è portati a pensare che questi strumenti, invero costosi e complessi, possano fare miracoli e operare da soli senza un'adeguata preparazione ed esperienza. Nulla di più errato, gli errori sono frequenti e spesso rilevanti.

Si consiglia, quindi, di ricorrere a personale specializzato per questo genere di strumenti diagnostici e non avventurarsi in prove estemporanee che possono compromettere e invalidare tutto il lavoro svolto.

9. RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA EDIFICI

9.1 LA NECESSITA' DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

La percentuale dei nuovi edifici è variabile fra 0,04-0,06% del parco costruito. Ciò significa che la progettazione *ex novo* incide solo marginalmente sul parco costruito. La grande maggioranza degli edifici è già costruita e di questa oltre l'80-90% non ha mai avuto interventi di riqualificazione energetica e sono stati costruiti prima delle leggi sul contenimento energetico.

Risulta quindi molto importante potere intervenire sul parco edificato esistente con interventi mirati di riqualificazione energetica. In parte questa necessità si attua allorché un edificio subisce una ristrutturazione con superficie utile > 1000 m² o una variazione di volume superiore al 20%, come indicato dal D.Lgs. 192/05.

Tuttavia gli interventi di riqualificazione energetica si rendono opportuni nel caso in cui si desideri ridurre i consumi energetici degli attuali edifici.

Si ricorderà, infatti, che un edificio costruito prima delle leggi sul contenimento energetico ha un'efficienza energetica EP_i compresa fra 150 e 250 kWh/(m².anno)⁴⁵ e cioè di un ordine di grandezza superiore a quella di un edificio conforme all'attuale normativa (D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 28/2011).

Ridurre tale efficienza a valori variabili fra 50 e 100 kWh/(m².anno) può rappresentare un risparmio notevole di energia e, conseguentemente, dei costi di riscaldamento.

Appare subito evidente, infatti, la differenza dei costi di esercizio esistente fra un edificio non progettato e costruito secondo l'attuale normativa ed uno progettato e costruito secondo l'attuale normativa. Supponendo un costo del gasolio di 1.7 €/L e con riferimento ad un appartamento di 100 m² di superficie utile si ha la situazione della seguente tabella.

EP_i	€/ (m ² .anno)	€/anno
250	42.5	4250
130	22.1	2210
20	3.4	340

Tabella 39: Confronto dei costi energetici degli edifici

Non occorre una laurea in economia per comprendere quanto sia grande la differenza di costo di gestione fra un edificio non coibentato ed uno ben coibentato. Se poi si considera che il prezzo del gasolio tende ad incrementare nel tempo si può concludere che un costo di gestione elevato

⁴⁵ Si osserva che l'indice di prestazione energetica, EP_i , viene dato in kWh/(m².anno) per edifici non residenziali. Pertanto i valori di riferimento sono diversi da quelli sopra indicati e non sono intercambiabili.

potrà incidere negativamente sulle condizioni di comfort ambientale poiché l'utenza tenderà a ridurre i tempi di accensione degli impianti di riscaldamento per ridurre i costi.

In questo capitolo si vuole presentare una casistica di possibili interventi di riqualificazione energetica per edifici esistenti.

9.2 INCIDENZA DEI DISPERDIMENTI TERMICI

L'incidenza dei disperdimenti attraverso l'involucro appare subito importante per intraprendere qualunque azione di riqualificazione energetica.

In Tabella 40 si ha un riepilogo dei disperdimenti per un ristorante in zona B conforme al D.Lgs. 192/05.

Potenza totale di picco [W]	72135
Potenza ventilazione [W]	44999
Potenza trasmissione [W]	27135
S [m²]	880.59
V [m³]	2873.95
S/V [m⁻¹]	0.306
Cd [W/m² K]	0.629
Cd limite [W/m² K]	0.477

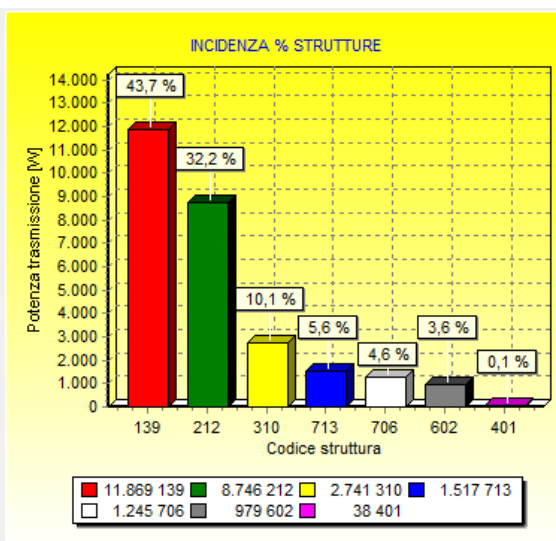


Tabella 40: Incidenza dei disperdimenti per un ristorante

L'elementi 139 è una parete esterna, l'elemento 212 rappresenta i serramenti, il 602 rappresenta i soffitti e il 713 i ponti termici. Come si può osservare il 43,7% dei disperdimenti si ha nelle pareti (in questo caso) e il 32,2% nei serramenti vetrati.

Vediamo un altro caso relativo ad un albergo a cinque piani in zona climatica B, costruito negli anni '70 senza alcun riferimento al risparmio energetico. L'albergo è a muratura portante con 80 cm di spessore con mattoni pieni e finestre con vetro camera semplice.

Potenza totale di picco [W]	81716
Potenza ventilazione [W]	26177
Potenza trasmissione [W]	55539
S [m²]	2986.16
V [m³]	9691.53
S/V [m⁻¹]	0.308
Cd [W/m² K]	0.382
Cd limite [W/m² K]	0.478
Cd a norma di legge	
Il Cd di progetto è inferiore del 20.1% rispetto al Cd limite	

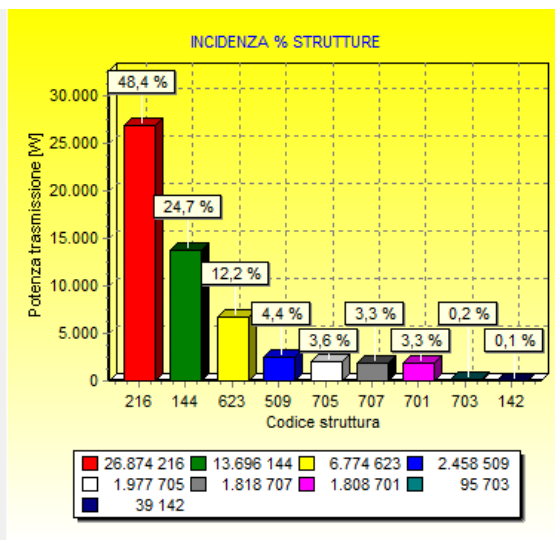


Tabella 41: Riepilogo dei disperdimenti per un albergo

Ancora una volta gli elementi disperdenti di maggior peso sono le finestre (elemento 216) con 48,2% contro il 24,7% delle pareti.

E' allora facile ipotizzare due possibili ipotesi di intervento:

- *Aggiungere ulteriore isolante alle pareti;*
- *Usare infissi con minore trasmittanza.*

Traendo spunto da queste osservazioni si discuteranno le strategie di intervento per la riqualificazione energetica.

9.2.1 ANALISI ENERGETICA DELL'EDIFICIO

Per la corretta valutazione delle operazioni da intraprendere per la riqualificazione energetica occorre prima effettuare un'analisi energetica dell'edificio utilizzando i dati disponibili sui costi energetici (bollette e/o fattura gasoli, gas, luce).

Pr individuare gli elementi maggiormente disperdenti, qualora non si abbia la possibilità di avere il riepilogo fatto da un programma di elaborazione progettuale, è bene effettuare un'analisi termografica, come indicato nel precedente capitolo. Da questa si potrà avere una mappa termica dalla quale dedurre gli elementi maggiormente disperdenti.

9.3 STRATEGIE DI INTERVENDO PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Per edifici esistenti e già dotati di impianti di riscaldamento è possibile conoscere i costi di gestione reali mediante l'esame delle bollette energetiche (luce, gas, gasolio, ...) esistenti.

Rapportando questi consumi alla superficie utile riscaldata si ha un primo calcolo, anche se grossolano, dell'indice di prestazione energetica EP_i :

$$EP_{i,consuntivo} = \frac{\text{Consumi}_{\text{energetici}}}{S_{\text{utile}} \cdot \text{anno}}$$

Da questo calcolo si ha una prima idea dell'intervento che si intende effettuare.

In genere le operazioni possibili sono così classificabili:

- *Interventi sull'isolamento dell'involucro;*
- *Interventi di sostituzione degli infissi con altri di minore trasmittanza;*
- *Interventi sulla sostituzione del generatore;*
- *Interventi di efficientamento energetico dei componenti;*
- *Utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (FER).*

Vediamo singolarmente questi possibili interventi.

9.4 INTERVENTI DI RETROFIT SULLINVOLUCRO DELL'EDIFICIO

Per un edificio già costruito le azioni che si possono svolgere sono:

- *Interventi sulla copertura;*
- *interventi sui pavimenti;*
- *interventi sulle pareti e sulla facciata;*
- *interventi sugli infissi e sulle vetrate;*

Ciascuna tipologia di intervento richiede prima la conoscenza, tramite diagnosi non distruttiva, della costituzione di ciascun componente. Se si ha un progetto o di un attestato di qualificazione energetica (AQE), allora si possono desumere le informazioni direttamente da questi documenti.

Analizziamo i vari interventi possibili.

9.4.1 INTERVENTI SUL SOLAIO DI COPERTURA

Occorre analizzare il tipo di solaio di copertura esistente e vedere se è possibile inserire isolante termico magari all'esterno in forma granulare ovvero trasformare il soffitto in tetto rovescio.

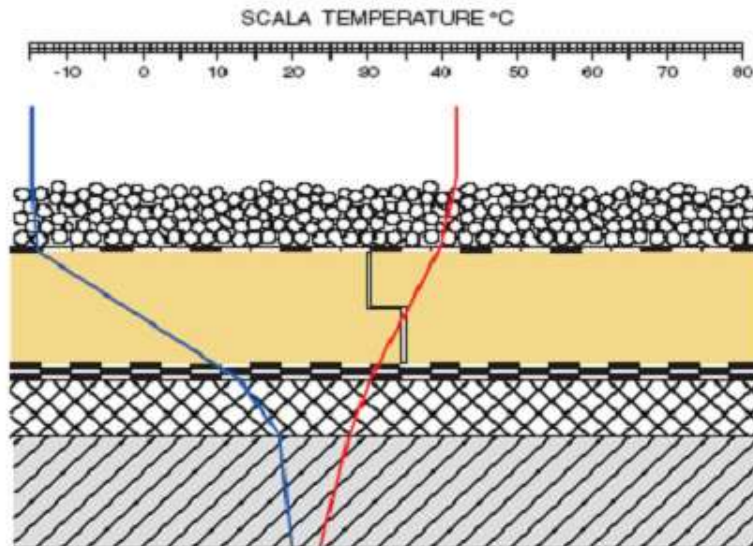


Figura 94: Esempio di tetto rovescio con granulato all'esterno

Se non si può operare all'esterno della copertura allora si può immaginare di inserire isolante nell'intradosso, protetto da un controsoffitto interno.



Figura 95: Controsoffitto interno a protezione dell'isolante

Se non si può porre un controsoffitto si può utilizzare un intonaco isolante composto da un impasto di leganti idraulici e sferule di polistirene espanso. In questo modo l'intonaco premiscelato, applicato a mano o con opportune macchine spanditrici, funge sia da intonaco interno sia da isolante termico.

Se la copertura è a falda si può utilizzare un sistema di copertura ventilata con isolamento nell'estradosso.

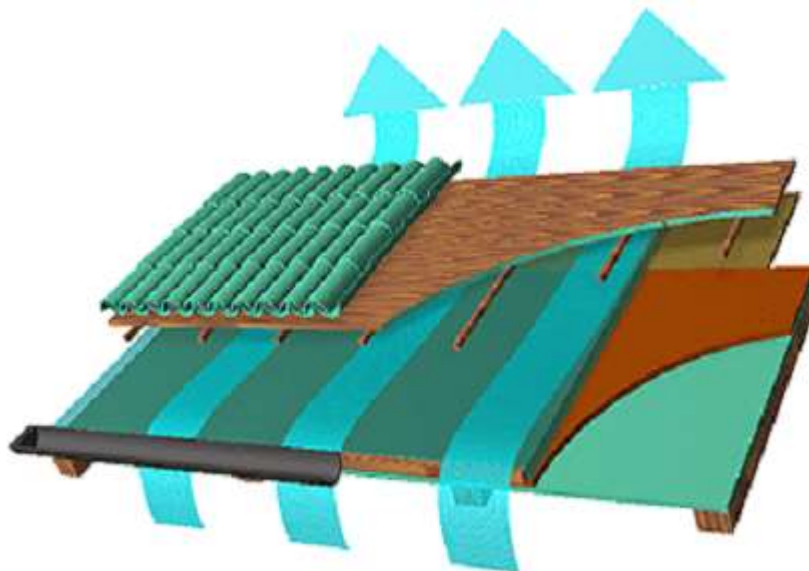


Figura 96: Isolamento di un tetto a falde nell'estradosso con tetto ventilato

Il tetto ventilato favorisce lo smaltimento dell'umidità mediante una ventilazione naturale attivata da aperture in sotto tegola (una di gronda e una di colmo). Lo spessore dello strato d'aria può variare da 8 a 12 cm.

E' ancora possibile applicare un isolante termico all'estradosso protetto da una guaina esterna.

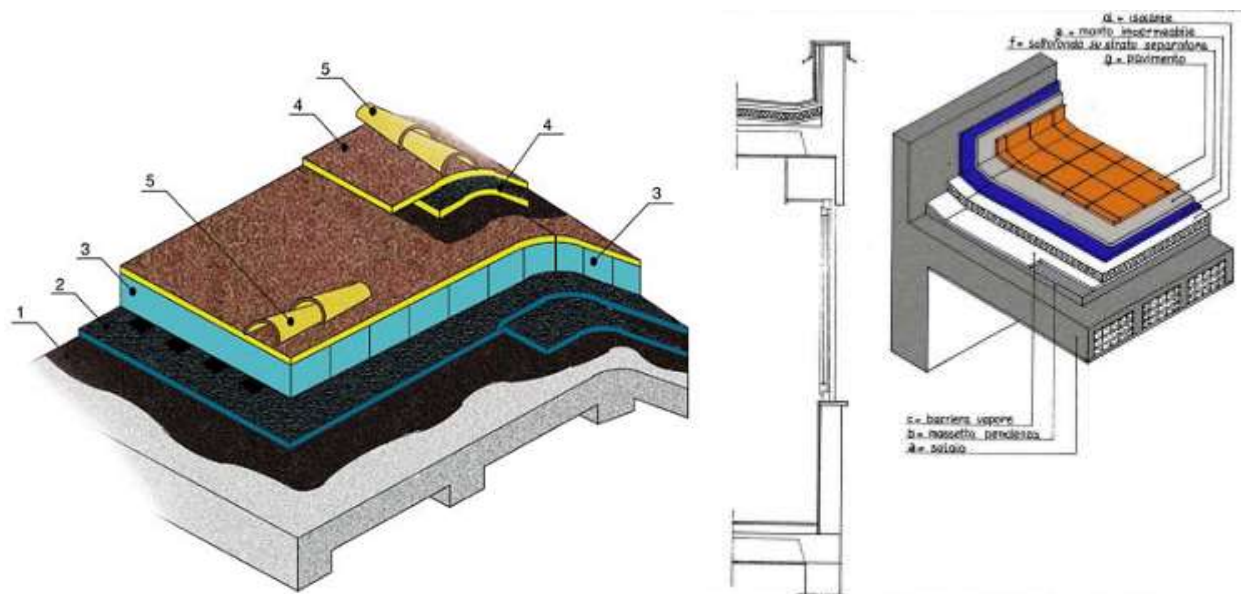


Figura 97: Inserimento dell'isolante all'esterno della falda

Nel caso di presenza di sottotetti è possibile intervenire sull'ultimo solaio posizionando strati di isolante termico o spargendo grani di isolante tipo perlite o argilla granulare.



Figura 98: Posizionamento di isolante termico sulla copertura di sottotetto

9.4.2 INTERVENTI SUI PAVIMENTI

Si tratta degli interventi più complessi poiché i pavimenti non sono accessibili se non dal lato interno. Se proprio è necessario intervenire occorre svellere le piastrelle e aggiungere strati di isolante termico. Si tenga presente che nei pavimenti sono spesso annegate le tubazioni per la distribuzione dell'acqua calda degli impianti di riscaldamento e/o anche le tubazioni con conduttori elettrici e pertanto agire su di essi può essere molto problematico.

9.4.3 INTERVENTO SULLE PARETI ESTERNE E SULLA FACCIATA

Sulle pareti esterne si può intervenire in più modi. Se l'edificio non ha isolamento termico si può pensare di inserire un *cappotto termico* su tutte le pareti esterne mediante l'applicazione di pannelli isolanti opportunamente protetti.

Nel caso che questa non sia possibile, così come suggerito per le coperture, si può pensare di applicare un intonaco per esterno di tipo isolante.



Figura 99: Applicazione dell'isolamento a cappotto e intonaco isolante

L'applicazione di isolante esterno può essere protetta tramite facciata ventilata, come per le falde di copertura, ottenendo notevoli vantaggi sul controllo dell'umidità. La facciata può essere in materiale lapideo, terrecotte, lastre metalliche in alluminio, in materiale plastico, in materiali cementizi o ceramici.

Il flusso di aria ascendente è attivato da aperture praticate in basso rispetto la facciata e in alto. In pratica si sfrutta l'effetto camino generato dal surriscaldamento della parete esterna aggiuntiva. Se la tipologia di parete esterna è del tipo ad intercapedine allora si può pensare di inserire dell'isolante termico mediante schiuma polimerizzante, tipo urea. Questa tecnica è oggi molto utilizzata e consiste nell'operare alcuni fori in testata delle pareti e da questi fori far discendere un prodotto schiumoso che poi viene polimerizzato *in situ*.

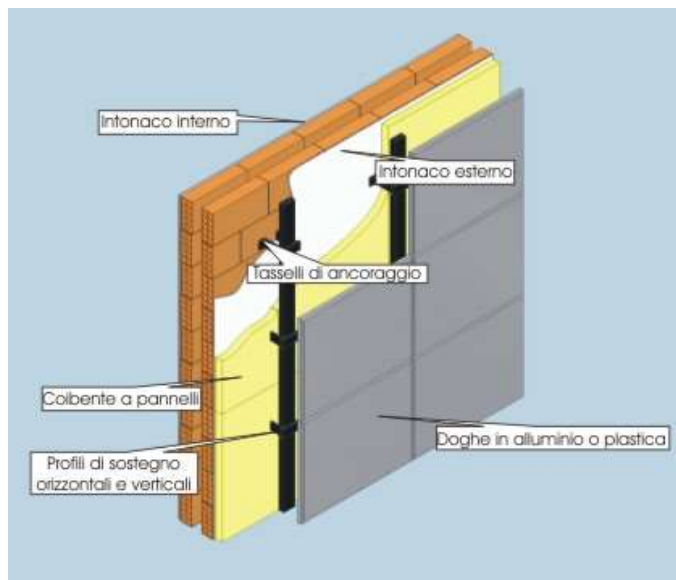


Figura 100: Applicazione di una facciata ventilata



Figura 101: Inserimento di schiuma polimerizzante nell'intercapedine di una parete.

Quest'operazione può anche essere eseguita su parete nuova come scelta progettuale di isolamento termico.

Infine è possibile isolare le pareti esterne ponendo isolante termico sulla superficie interna. Di solito si tratta di pannelli isolanti (sia termici sia acustici) applicati uniformemente e poi protetti con contro parete in cartongesso o similare.



Figura 102: Applicazione di pannelli isolanti all'interno delle pareti

L'isolamento del sottofinestra è un intervento che agisce su un tratto di parete esterna solitamente meno spesso della rimanente muratura e quindi decisamente più disperdente.

L'inserimento di un coibente riporta questo tratto nelle condizioni della rimanente parete pur limitando l'aumento di spessore grazie alle migliori caratteristiche dei coibenti.

Dal punto di vista tecnologico, il sistema prevede la posa in opera di un pannello coibente con barriera al vapore, da lasciare in vista nel caso che nel vano vada alloggiato un radiatore, e da completare verso l'interno del locale con cartongesso o con un controtavolato in tavelle, nel caso in cui esso sia a vista.

Il sistema comporta che il supporto sia asciutto, non polveroso e friabile e privo di muffa. Inoltre, particolare cura dovrà essere posta al fine di ottenere una completa e regolare sigillatura degli spigoli e angoli laterali della contro parete, onde realizzare un isolamento termico che non inneschi condensazione con conseguenti formazioni di muffe.

Al fine di ridurre le perdite negli infissi è possibile intervenire sull'isolamento del cassonetto delle tapparelle ad esempio con l'applicazione di strati di isolante rigido in modo da ricoprire il cassonetto stesso.

Nel dettaglio, la coibentazione deve essere applicata su tutta la superficie del cassonetto mediante un continuo e sottile strato di adesivo (adeguato all'uso), e l'applicazione di tasselli meccanici per mezzo d'idonei chiodi, in numero non inferiore a sei (uno per ciascun angolo e due al centro), per una completa e uniforme aderenza dello strato isolante alla paretina orizzontale superiore.

Nel caso si debba isolare un cassonetto già in opera, è necessario verificare le dimensioni reali di ingombro del rullo avvolgibile ed i conseguenti spazi rimasti liberi per determinare il massimo spessore consentito per le dimensioni del pannello isolante.

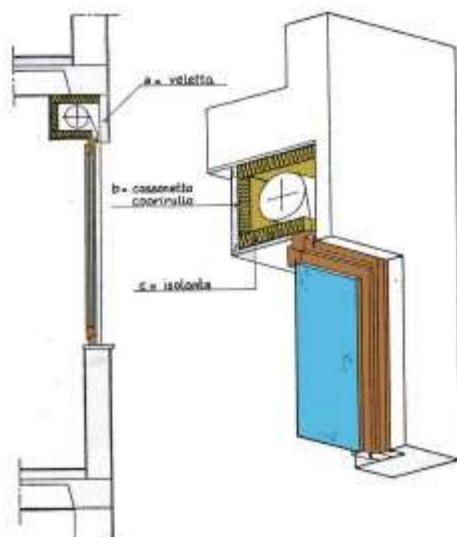


Figura 103: Isolamento del cassonetto

9.4.4 INTERVENTI SUGLI INFISSI E SULLE VETRATE

Gli infissi sono spesso responsabili di gran parte delle perdite energetiche degli edifici a causa dell'elevata trasmittanza termica rispetto a quella delle pareti.

In un edificio esistente le finestre possono essere a vetro singolo e in ogni caso non conformi all'attuale normativa (vedi limite D.lgs. 192/05). Per questo motivo uno dei primi e più importanti interventi è proprio la sostituzione degli infissi con prodotti nuovi aventi, ad esempio, telai in legno o in alluminio a taglio termico e vetrate isolanti (doppia camera o doppia finestra).



Figura 104: Telai in legno o in alluminio a taglio termico



Figura 105: Esempio di applicazione di un serramento esterno (doppia finestra)

Se i telai lo consentono è possibile anche sostituire il vetro con un vetro camera basso emissivo di opportune caratteristiche disperdenti.



Figura 106: Sostituzione del vetro semplice con vetrocamera basso emissivo

Sulla scelta dei vetri si veda quanto già detto sulle tipologie di vetri isolanti.

Qualora sia possibile intervenire esternamente, è ancora possibile inserire schermi solari esterni per evitare il surriscaldamento estivo. Oggi è anche possibile installare schermi con alette mobili a inseguimento solare con il vantaggio di avere un migliore ombreggiamento e anche un controllo ottimale sull'illuminazione diurna degli ambienti.

Sempre con l'uso di vetrate è anche possibile trasformare una normale veranda in una serra addossata (vedi Architettura bioclimatica) ottenendo un notevole beneficio sulla riduzione del fabbisogno energetico invernale. Naturalmente la serra addossata deve essere tenuta aperta nel periodo estivo per evitare il surriscaldamento degli ambienti.



Figura 107: Trasformazione di una veranda in serra addossata

9.5 INTERVENTI SUGLI IMPIANTI

In fase di progettazione è possibile selezionare tipologie di impianti meno energivori. Ad esempio si possono scegliere generatori termici ad alta efficienza e a bassa temperatura (caldaie a condensazione), terminali ad alta efficienza e regolazione elettronica centralizzata e per singolo ambiente.

Gli impianti a pavimento radiante (o a parete radiante) hanno notevole inerzia termica e quindi soffrono di problemi di regolazione, specialmente in climi moderati con forte variabilità fra giorno e notte. Nelle zone climatiche più fredde (dalla C in poi) è possibile utilizzarli con successo sia per il raggiungimento del comfort ambientale sia per la riduzione dei consumi energetici.

Per la climatizzazione estiva si possono usare impianti con fan coil e con generatore di acqua fredda a elevata efficienza (vedi UNI TS 11300 Parte 3).

Meglio se è possibile utilizzare la micro cogenerazione, per impianti di piccola potenza, o di trigenerazione per impianti di grande potenza.

Nel caso di edifici esistenti si possono avere i seguenti casi:

- *impianti di climatizzazione inesistenti;*
- *impianti di climatizzazione esistenti ma obsoleti;*
- *generatori termici di vecchia generazione.*
- *inserimento di impianti ad energie rinnovabili in aiuto agli impianti esistenti.*

9.5.1 IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE INESISTENTI

In questo caso occorre inserire un nuovo impianto in edificio esistente. Si possono avere alcune difficoltà in base alla tipologia di edificio (ad esempio edificio antico o storico) nell'inserimento degli impianti e pertanto occorre scegliere con cura quale impianto inserire.

In un edificio esistente è difficile inserire canali d'aria, a meno di farli passare esternamente con grave pregiudizio estetico. Spesso i muri di notevole spessore (ad esempio muratura portante) impedisce l'inserimento degli impianti.

Anche gli interventi a pavimento sono spesso problematici e quindi occorre lavorare sotto traccia al di sotto del battiscopa.

Una soluzione possibile è quella di inserire, ad esempio, strisce radianti a soffitto di ampia estensione.

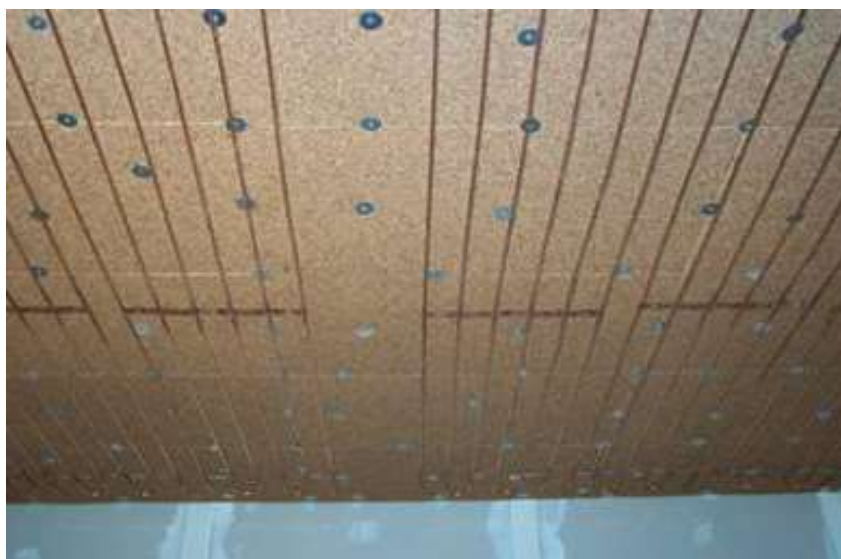


Figura 108: Applicazione di strisce radianti a soffitto

Nel caso sia possibile svellere i pavimenti si possono installare pannelli radianti a pavimento.



Figura 109: Pannelli radianti a pavimento

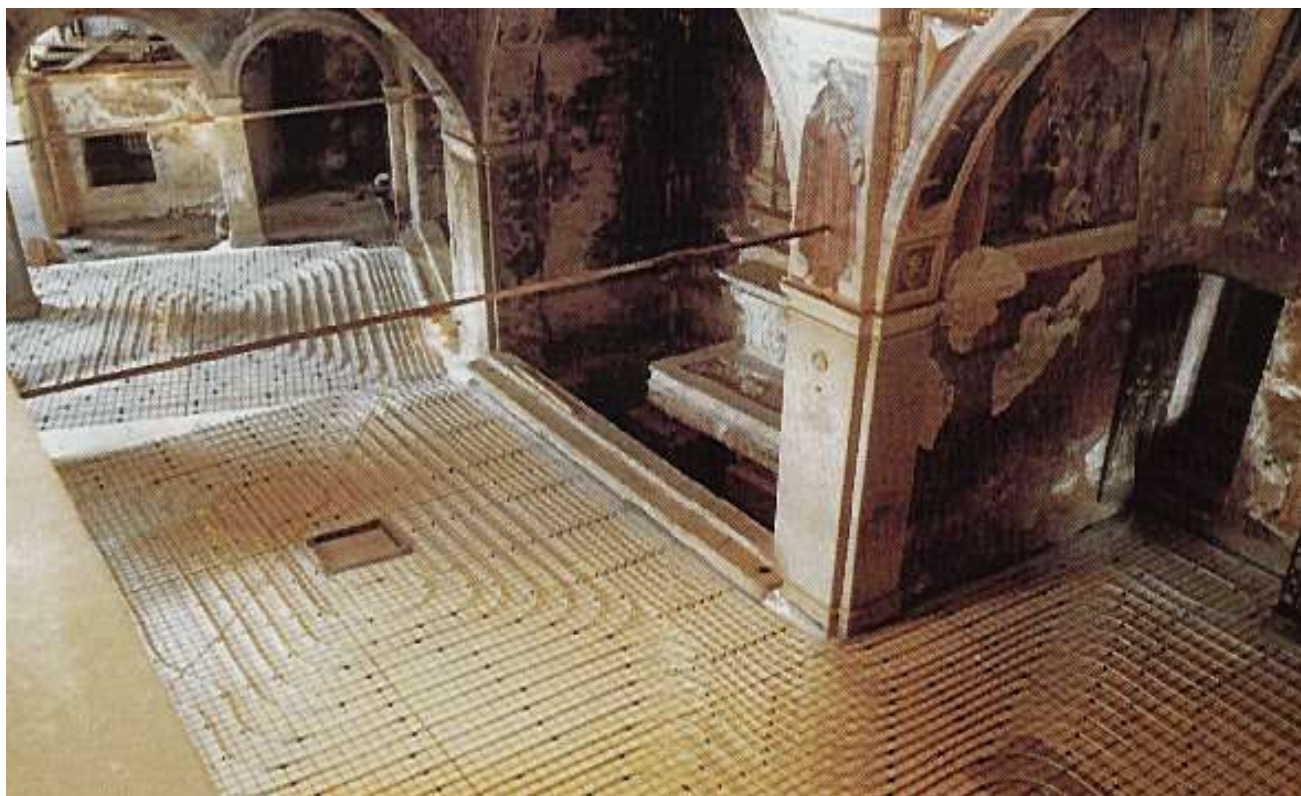


Figura 110: Esempio di applicazione dei pannelli radianti in una chiesa

Si possono inserire, ove possibile, anche impianti a pannelli radianti a parete. Nel caso di difficoltà a recuperare spazi per la centrale termica o non si abbia la possibilità di utilizzare una caldaia tradizionale si può utilizzare un impianto di riscaldamento a pompa di calore. In questo caso è opportuno considerare un impianto multi split del tipo ad inverter ad elevati COP.

Questo genere di impianti consentono un'applicazione semplice in edifici esistenti (retrofit) perché poco invasivi. Si richiede, infatti, il passaggio di tubazioni coibentate e non di voluminosi canali per l'aria.



Figura 111: Inserimento di pannelli radianti a parete

9.5.2 IMPIANTI ESISTENTI OBSOLETI

Se gli impianti esistenti sono obsoleti si può considerare la piena sostituzione con altri più moderni ed efficienti, sulla scorta di quanto indicato nel paragrafo precedente.

Per impianti datati si possono avere problemi di tenuta delle tubazioni di distribuzione dell'acqua calda. In questo caso occorre riprogettare la rete di distribuzione con passaggi delle tubazioni (opportunamente coibentate), anche sopra traccia, eventualmente mascherate da finte travi o finti pilastri. I corpi scaldanti in ghisa possono rimanere perché di lunga durata. Resta tuttavia il problema della sostituzione del generatore termico con uno a bassa temperatura.

Osservazioni sulla sostituzione del generatore di calore

L'obbligo di utilizzare generatori di calore a tre o quattro stelle limita molto la scelta di mercato essendo il numero di questo tipo di generatori limitato.

Ancora più sconcertante è l'obbligo di utilizzare temperatura del fluido termovettore non superiore a 60 °C. Ciò fa evidentemente riferimento alle caldaie con recupero di condensa da lato ma dall'altro pone grossi problemi sull'effettiva resa dei terminali finali. Questi, infatti, hanno una resa termica che dipende dalla differenza di temperatura fra corpo scaldante e ambiente secondo la relazione:

$$Q_{resa} = C \Delta T_{cs-amb}^n$$

I coefficienti C ed n sono dati dal Costruttore mentre si ha:

$$\Delta T_{cs-amb} = \frac{T_{fi} + T_{fu}}{2} - T_a$$

essendo T_{fi} e T_{fu} le temperature del fluido termovettore in ingresso ed uscita dal corpo scaldante e T_a la temperatura dell'ambiente.

Per generatori esistenti (e quindi vecchi oltre 10 anni) è lecito pensare che si abbia $\Delta T_{cs-amb} = 50-60$ °C, mentre per acqua entrante a 60 °C ed uscente a 50 °C la nuova differenza diviene 35 °C. In questi casi la resa dei corpi scaldanti è circa il 35% inferiore al caso di $\Delta T=50$ °C e quindi tutto il funzionamento dell'impianto risulta compromesso. Occorrerebbe rifare anche la rete di distribuzione e installare nuovi corpi scaldanti e questo significa intervenire anche all'interno degli ambienti.

La canna fumaria dimensionata per fumi a 120-130 °C delle vecchie caldaie non possono funzionare correttamente per fumi a 80-90 °C delle caldaie a condensazione. Ciò significa che occorre cambiare anche la canna fumaria.

In definitiva sostituire il generatore termico significa, per quanto sopra detto, rifare l'intero impianto di riscaldamento con tutti i problemi che ne derivano in edifici esistenti.

Anche le verifiche alternative sono particolarmente gravose poiché l'EPCI di edifici esistenti e verosimilmente senza isolamento termico non conforme alla 192/05 sarà facilmente superiore all'EPCI_{limite} non maggiorato del 50% come nel caso di edifici ristrutturati. Inoltre il rendimento medio stagionale pari a:

$$\eta_p = 77 + 3 \log P_n$$

appare fortemente limitativo e difficile da verificare.

Le valvole termostatiche

Il DPR 59/09, come pure il D.lgs. 311/06, richiede che siano inserite le valvole termostatiche in ogni ambiente. Queste regolano la temperatura di ciascun ambiente, sfruttando anche gli apporti

di energia gratuiti. Queste valvole s'installano su ciascun radiatore in sostituzione della vecchia valvola manuale.



Figura 112: Valvole termostatiche

Le valvole termostatiche regolano l'afflusso di acqua calda in base alla temperatura selezionata mediante ghiera graduata. La valvola è collegata a un sensore di temperatura dell'ambiente e opera in modo da aprirsi o chiudersi secondo la temperatura ambientale rilevata. Essa agisce la valvola deviatrice del flusso di acqua calda.

Si osservi che le valvole termostatiche possono far risparmiare fino al 20% di energia e pertanto il loro inserimento si ripaga in breve tempo (uno o due anni).

9.5.3 SOSTITUZIONE DEI GENERATORI TERMICI

Vale quanto detto in precedenza sulla scelta di generatori termici a bassa temperatura. Occorre verificare che il cambiamento della differenza di temperatura di progetti renda insufficiente la rete di distribuzione e i terminali installati. In genere occorre riverificare la rete di distribuzione, eventualmente cambiando il circolatore d'acqua per ristabilire l'equilibrio delle pressioni nei circuiti. Se la verifica della potenza ceduta dai corpi scaldanti è insufficiente (vedi quanto osservato in precedenza) allora occorre rivedere anche i copri scaldanti.

9.5.4 INSERIMENTO DI IMPIANTI AD ENERGIA RINNOVABILE

Se l'edificio è di nuova costruzione ed è stato progettato secondo le norme vigenti, esso dovrebbe già avere impianti solari a collettore per la produzione di acqua calda sanitaria e, se possibile, anche di impianti fotovoltaici per l'auto produzione di energia elettrica secondo le attuali disposizioni (vedi conto energia).

Nel caso di edifici già costruiti, l'inserimento di collettori solari o di pannelli fotovoltaici consente di ridurre il fabbisogno energetico termico e quindi di migliorare la classe energetica degli stessi edifici. Valgono le considerazioni già presentate nel capitolo sulle energie rinnovabili. Occorre valutare, in primo luogo, la fattibilità tecnica (superficie utile ed esposizione) e poi quella economica. Gli impianti solari termici non hanno vantaggi del conto energia e quindi si presentano con costi elevati. Per la sola produzione di acqua calda sanitaria l'investimento per unità immobiliare (cioè per 200 L di acqua calda al giorno) è limitato a qualche migliaio di euro, ammortizzabile in circa 7-10 anni. Per edifici con più unità immobiliari si ha la necessità di un locale tecnico per il boiler di accumulo e degli organi di controllo dell'impianto.

In qualche caso si può pensare a un contributo di energia solare al riscaldamento ambientale. Invero, come già osservato, c'è qualche perplessità su questo tipo di impianto perché la superficie

solare di raccolta diviene piuttosto consistente (alcune decine di metri quadri per unità immobiliare) e quindi i costi di installazione sono molto elevati (variabili da 500 a 1500 /m² a seconda della tipologia di impianto e di collettore solare).

A questo si aggiunga che la disponibilità di energia solare è minore nei mesi invernali e quindi, per data percentuale di contributo solare, si avrà un'energia termica due - tre volte superiore nel periodo estivo. Se non si ha modo di utilizzare quest'ultima energia si rischia di compiere un investimento che non ammortizza in tempi accettabili.

Sull'utilizzo di celle fotovoltaiche per l'auto produzione di energia elettrica valgono in parte le considerazioni esposte per i collettori solari termici, in particolare sulla superficie di raccolta e sull'esposizione solare.

Si tratta di impianti costosi ed invasivi. Il costo chiavi in mano da 3 kWp (vedi capitolo sulle energie rinnovabili) varia da circa 6000 a 8000 /kWp. Un impianto da 3 kWp ha un costo variabile da 12000 a 24000. Il conto energia, attivabile per questi impianti, aiuta a renderli quasi convenienti portando il tempo di pay back variabile fra 12 e 19 anni (a seconda del tipo di celle fotovoltaiche e dell'eventuale presenza di batterie tampone). Si osservi che di recente l'Agenzia delle Entrate ha deliberato che nel caso di energia autoprodotta per usi propri non si applica l'IVA mentre nel caso di surplus o non utilizzo di energia per usi propri i ricavi economici vanno gravati di IVA.

9.5.5 UTILIZZO DI FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI (FER)

Se l'edificio è di nuova costruzione ed è stato progettato secondo le norme vigenti, esso dovrebbe già avere impianti solari a collettore per la produzione di acqua calda sanitaria e, se possibile, anche di impianti fotovoltaici per l'auto produzione di energia elettrica secondo le attuali disposizioni (vedi conto energia).

Nel caso di edifici già costruiti, l'inserimento di collettori solari o di pannelli fotovoltaici consente di ridurre il fabbisogno energetico termico e quindi di migliorare la classe energetica degli stessi edifici. Valgono le considerazioni già presentate nel capitolo sulle energie rinnovabili. Occorre valutare, in primo luogo, la fattibilità tecnica (superficie utile ed esposizione) e poi quella economica. Gli impianti solari termici non hanno vantaggi del conto energia e quindi si presentano con costi elevati. Per la sola produzione di acqua calda sanitaria l'investimento per unità immobiliare (cioè per 200 L di acqua calda al giorno) è limitato a qualche migliaio di euro, ammortizzabile in circa 7-10 anni. Per edifici con più unità immobiliari si ha la necessità di un locale tecnico per il boiler di accumulo e degli organi di controllo dell'impianto.

In qualche caso si può pensare a un contributo di energia solare al riscaldamento ambientale. Invero, come già osservato, c'è qualche perplessità su questo tipo di impianto perché la superficie solare di raccolta diviene piuttosto consistente (alcune decine di metri quadri per unità immobiliare) e quindi i costi di installazione sono molto elevati (variabili da 500 a 1500 /m² a seconda della tipologia di impianto e di collettore solare).

A questo si aggiunga che la disponibilità di energia solare è minore nei mesi invernali e quindi, per data percentuale di contributo solare, si avrà un'energia termica due - tre volte superiore nel periodo estivo. Se non si ha modo di utilizzare quest'ultima energia si rischia di compiere un investimento che non ammortizza in tempi accettabili.

Sull'utilizzo di celle fotovoltaiche per l'auto produzione di energia elettrica valgono in parte le considerazioni esposte per i collettori solari termici, in particolare sulla superficie di raccolta e sull'esposizione solare. Si tratta di impianti costosi ed invasivi. Il costo chiavi in mano da 3 kWp (vedi capitolo sulle energie rinnovabili) varia da circa 6000 a 8000 /kWp. Un impianto da 3 kWp ha un costo variabile da 12000 a 24000. Il conto energia, attivabile per questi impianti, aiuta a renderli quasi convenienti portando il tempo di pay back variabile fra 12 e 19 anni (a seconda del tipo di celle fotovoltaiche e dell'eventuale presenza di batterie tampone).

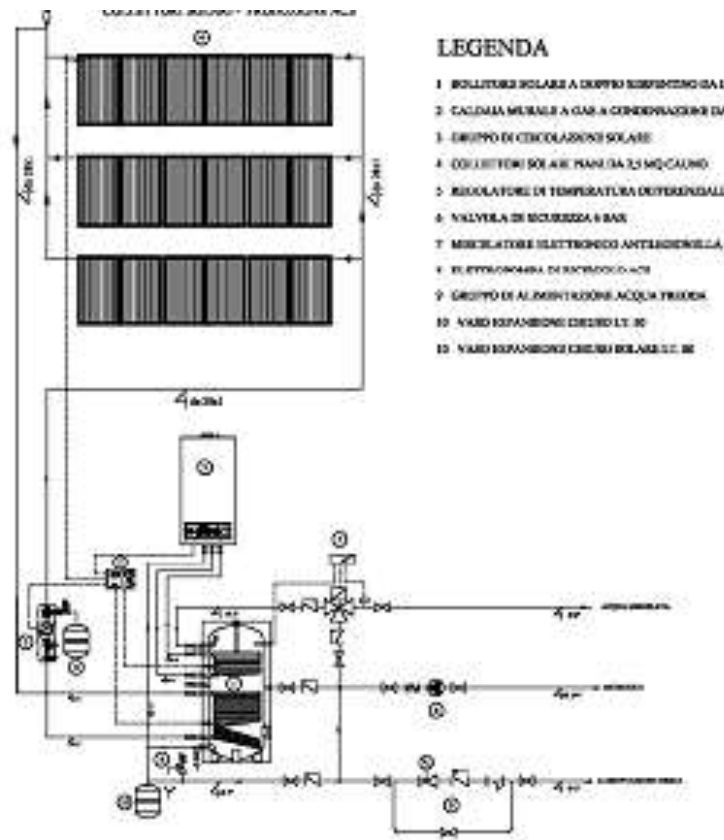


Figura 113: Schema di utilizzo di collettori solari termici

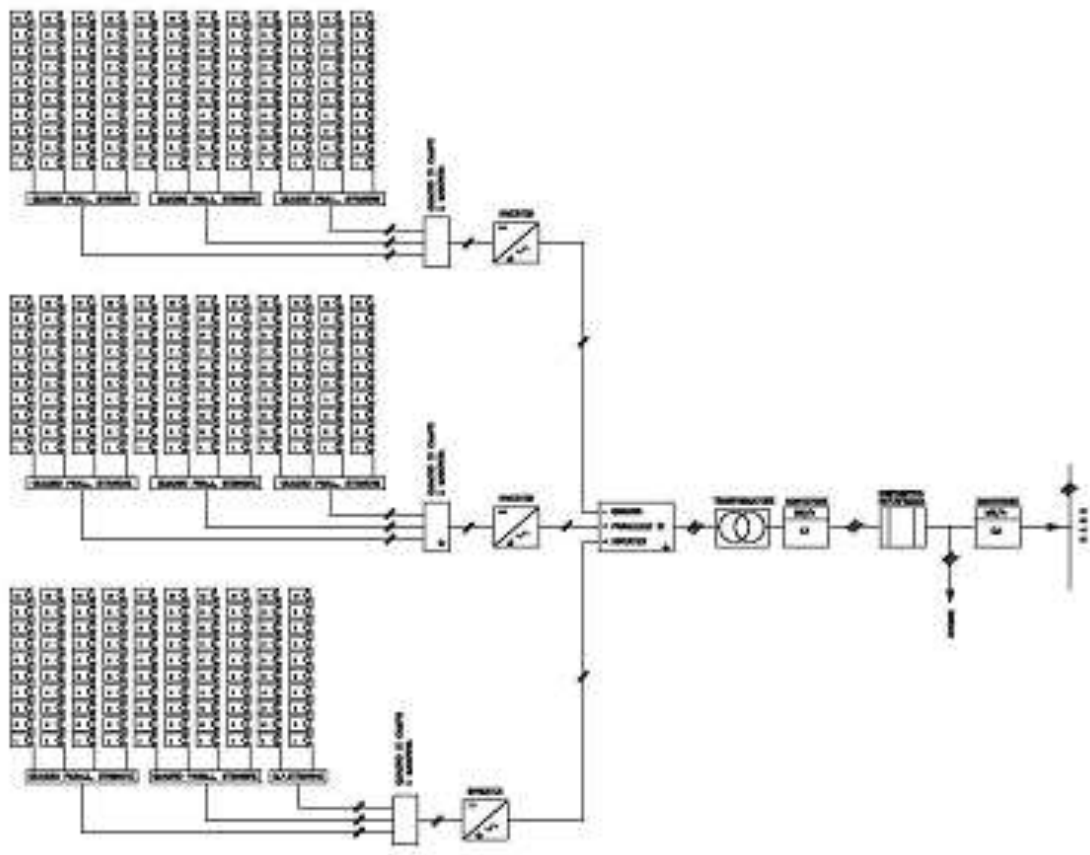


Figura 114: Schema di utilizzo di pannelli fotovoltaici



Figura 115: Inserimento di pannelli fotovoltaici in coperture classiche a tegole



Figura 116: esempio di installazione di pale eoliche ad asse verticale, integrate alle strutture presenti su un terrazzo.



Figura 117: Dettaglio del sistema fotovoltaico integrato in copertura

Si osservi che di recente l'Agenzia delle Entrate ha deliberato che nel caso di energia autoprodotta per usi propri non si applica l'IVA mentre nel caso di surplus o non utilizzo di energia per usi propri i ricavi economici vanno gravati di IVA.

9.6 FATTIBILITÀ TECNICO - ECONOMICA DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

Ciascuna tipologia di intervento prima descritto ha un costo economico. E' possibile ipotizzare l'utilizzo di una o più tipologie di intervento per raggiungere l'obiettivo della verifica dell'EP_i e del rapporto QR. E' sempre opportuno effettuare un'analisi dei costi benefici delle varie ipotesi di intervento avendo come limite un pay back ragionevole di 6-10 anni per gli interventi utilizzati.

L'**analisi costi-benefici (ACB)** è una tecnica usata per valutare la convenienza e se eseguire un investimento sul territorio in funzione degli obiettivi che si vogliono raggiungere.

L'esecuzione del progetto può avvenire da parte di due grandi categorie di soggetti economici: *l'operatore privato* e *l'operatore pubblico*.

L'**operatore privato** tende a porre a confronto i costi e i ricavi che derivano dalla realizzazione del progetto: si pone cioè in un'analisi, tipica delle scelte imprenditoriali, in cui l'obiettivo è costituito dalla *massimizzazione del profitto*.

L'**operatore pubblico** pone interesse non solamente agli aspetti finanziari legati alle spese effettivamente sostenute per la realizzazione del progetto ma individua una gamma di costi e di benefici che abbiano una relazione con l'obiettivo tipico delle scelte pubbliche: *massimizzazione del benessere sociale*.

9.6.1 DIFFERENZE TRA L'ANALISI FINANZIARIA E L'ANALISI ECONOMICA.

Se l'**investimento è privato** l'Analisi Costi Benefici (ACB) assume i caratteri di un'analisi finanziaria: vengono cioè valutati i flussi monetari che nel corso degli anni sono causati dall'investimento (positivi per quanto riguarda i ricavi; negativi per ciò che concerne i costi).

Se invece la valutazione riguarda un **investimento pubblico**, allora si è soliti parlare di analisi economica: ciò significa che non si valutano solo i flussi finanziari ma i costi e i benefici in senso lato relativi a tutta la collettività. In tale situazione si cerca di valutare in termini monetari tutti gli svantaggi (*costi*) e tutti i vantaggi (*benefici*) che l'investimento arreca alla popolazione interessata.

E' evidente che l'analisi della convenienza dal punto di vista pubblico prende in considerazione tutti quegli aspetti che possono influire sull'utilità degli individui interessati dal programma di investimento.

L'analisi economica è quindi più articolata e complessa dell'analisi finanziaria, infatti, mentre per quest'ultima i valori monetari presi in considerazione risultano essere di solito espliciti (per quanto riguarda i costi) o stimati (per quanto concerne i benefici), nell'analisi economica occorre ricorrere a giudizi di valore e a stime di larga massima per molti fattori che concorrono a formare i benefici ed i costi della collettività, caratterizzati spesso dal elementi che sfuggono a qualsiasi criterio di misurazione (per esempio il miglioramento della qualità del paesaggio, la migliore salubrità dell'ambiente, ecc.).

9.6.2 PROBLEMATICHE DI FONDO NELL'ACB

L'ACB si avvale delle metodologie monetarie e si devono tuttavia affrontare in pratica alcune importanti problematiche dovute principalmente al fatto che, dal punto di vista sociale, le spese e i ricavi previsti dal progetto in esame non rispecchiano gli effettivi costi e benefici. Infatti, i prezzi reali che si utilizzano normalmente nelle analisi finanziarie rispecchiano il punto di vista di un singolo operatore, normalmente privato; occorre allora modificare i prezzi reali e trasformarli nei cosiddetti

“prezzi ombra” che rappresentano i prezzi in grado di rappresentare al meglio il punto di vista della collettività (di solito i prezzi sul mercato immobiliare).

Più in generale l'ACB risente delle seguenti problematiche:

- *In alcuni casi prevalgono costi o benefici intangibili, non qualificabili monetariamente, perché inerenti a beni privi di un mercato (il valore della salute umana, del paesaggio, ecc.);*
- *La sottovalutazione di costi o benefici che si verificano a lungo termine;*
- *La scarsa capacità di partecipazione della collettività, in quanto per la persona comune è in genere molto difficile esprimere in termini monetari il grado di benessere che riceve da un bene ambientale, non disponendo al riguardo di validi e razionali parametri.*

9.6.3 COSTI ESPlicitI E COSTI IMPLICITI

Con questi termini s'intendono rispettivamente i costi effettivamente sostenuti con un esborso monetario e quelli che, pur non essendo determinati da un pagamento effettuato, sono individuabili come costi poiché hanno comportato *l'utilizzo di risorse interne all'azienda*. Per esempio il noleggio di una macchina costituisce un costo esplicito, mentre l'uso di macchine aziendali è un costo implicito, perché non corrisposto realmente ogni volta che se ne fa uso, ma è rilevabile con un'analisi economica basata su numerosi fattori (costo acquisto, durata economica, impiego annuo, ecc.).

9.6.4 COSTI – OPPORTUNITÀ

Nell'ACB il concetto di costo deve essere considerato in un'ottica diversa da quella tradizionale (spese da sostenere per produrre un bene), che consideri adeguatamente le rinunce sopportate riguardo ai possibili impieghi alternativi del capitale investito. Il costo così determinato, detto **costo-opportunità**, è pari al valore di mercato o di costo dei beni cui si è dovuto rinunciare per avere le risorse necessarie ad acquistare il bene in esame.

9.6.5 DETERMINAZIONE DEL SAGGIO DI SCONTO NELL'ACB

L'Analisi Costi Benefici valuta la convenienza a realizzare un investimento sulla base del confronto **benefici attualizzati** e i **costi attualizzati** derivanti dal progetto; ciò significa che occorre accumulare all'attualità tutti i benefici e i costi che si presentano in momenti diversi nel tempo.

Sorge quindi il problema dello sconto⁴⁶ dei costi e dei benefici futuri, poiché questi non hanno il medesimo valore sociale dei costi e dei benefici presenti.

Il **saggio sociale di preferenza temporale** esprime le condizioni alle quali gli individui sono disposti a privarsi della disponibilità del denaro e di rinviarla nel futuro.

Queste condizioni, espresse in pratica da un saggio d'interesse, se sono riferite a un'intera società, esprimono la disponibilità a investire in opere pubbliche per avere benefici in tempi futuri.

È facilmente intuibile che anche la determinazione del saggio costituisce una fase delicata e importante e non facile nel processo di valutazione.

Il problema del saggio di sconto non è di facile soluzione; si può considerare

- *Un saggio ritraibile dai titoli di stato;*
- *Un saggio pagato per mutui contratti dalla collettività;*

Oppure una particolare interpretazione è di usare un saggio elevato di sconto per scoraggiare gli investimenti pubblici in una situazione di scarsa disponibilità di capitale; cioè il saggio diventa strumento di selezione dei progetti, consentendo di ottenere un equilibrio tra risorse e impieghi.

⁴⁶ In matematica finanziaria lo “sconto” è la somma che si detrae da un capitale quando lo si vuole anticipare nel tempo; scontare o anticipare un capitale ha lo stesso significato. Lo sconto (sc) può essere conteggiato in due diversi modi: Sconto matematico o ragione; Sconto bancario o commerciale.

9.6.6 CRITERIO DI GIUDIZIO SU UN INVESTIMENTO BASATO SUL VALORE ATTUALE NETTO

Un primo tipo di decisione inerente all'accettazione o al rifiuto del progetto può essere presa sulla base del **valore attuale netto (VAN)**, che consiste nell'accettare un progetto se la somma dei suoi benefici (B) attualizzati, al netto dei costi (C) pure attualizzati è maggiore di zero.

9.6.7 CRITERIO DI GIUDIZIO SU UN INVESTIMENTO BASATO SUL SAGGIO DI RENDIMENTO INTERNO

Un altro criterio che è spesso suggerito è quello che tiene conto del cosiddetto **saggio di rendimento interno (SRI)**, questo consiste nel calcolare il tasso di sconto che eguaglia il valore dei costi e dei benefici attualizzati. In pratica il SRI è quel saggio per cui si abbia un VAN uguale a zero.

Il SRI può essere ricavato solo per tentativi e, una volta trovato, può essere confrontato con un tasso di sconto predeterminato: se il primo è maggiore del secondo il progetto viene accettato.

9.7 PROCEDURA DA SEGUIRE PER L'ANALISI COSTI BENEFICI

Le procedure da seguire per eseguire un'analisi costi benefici sono così riassumibili:

- Definire il problema; aspetti, rimedi, obiettivi;
- Definire gli obiettivi;
- Individuare gli strumenti per perseguire gli obiettivi;
- Individuare un insieme limitato di alternative tra cui lo status quo;
- Valutare le conseguenze di ogni alternativa per ogni periodo, sia in termini fisici (input e output) che con riferimento ai costi e ai benefici corrispondenti;
- Attualizzare i costi e i benefici specificando il tasso di sconto usato e sommare costi e benefici;
- Considerare gli aspetti distributivi;
- Analizzare il ruolo dell'incertezza;
- Interpretare i risultati.

9.7.1 VALORE ATTUALE DEI COSTI E DEI BENEFICI

Per i *benefici attuali*, detto b_t^m il beneficio al periodo m , si ha la relazione del beneficio scontato ad oggi:

$$b_t^m$$

$$B^m = \sum_{t=0}^n b_t^m (1+i)^{-t} \quad [39]$$

ove i è il tasso di interesse economico e t il numero dei periodi.

Per i *costi*, detto c_t^m il costo al periodo m , il sia ha relazione per il costo scontato ad oggi:

$$c_t^m$$

$$C^m = \sum_{t=0}^n c_t^m (1+i)^{-t} \quad [40]$$

Si osservi che il termine $(1+i)^{-t}$ è detto *fattore di sconto*.

- Si definisce **Indice di Redditività interno, IIR** il tasso d'interesse che rende nullo il valore attuale;

- Si definisce **Tempo di pay-back o di ritorno, TPB** il numero di anni (o frazione di anni) dopo i quali il cash flow cumulativo diviene nullo. In pratica questo parametro indica il tempo necessario a riprendere il capitale investito nell'iniziativa⁴⁷.

9.7.2 CRITERI DI SCELTA

Il Valore Attuale Netto, VAN, di costi e benefici è dato da:

$$VAN^m = B^m - C^m \quad [41]$$

Qualora il VAN relativo a una ipotesi progettuale sia positivo al termine della vita utile (di investimento) allora i benefici prodotti avranno avuto un importo scontato superiore all'investimento stesso e pertanto l'ipotesi contemplata è remunerativa.

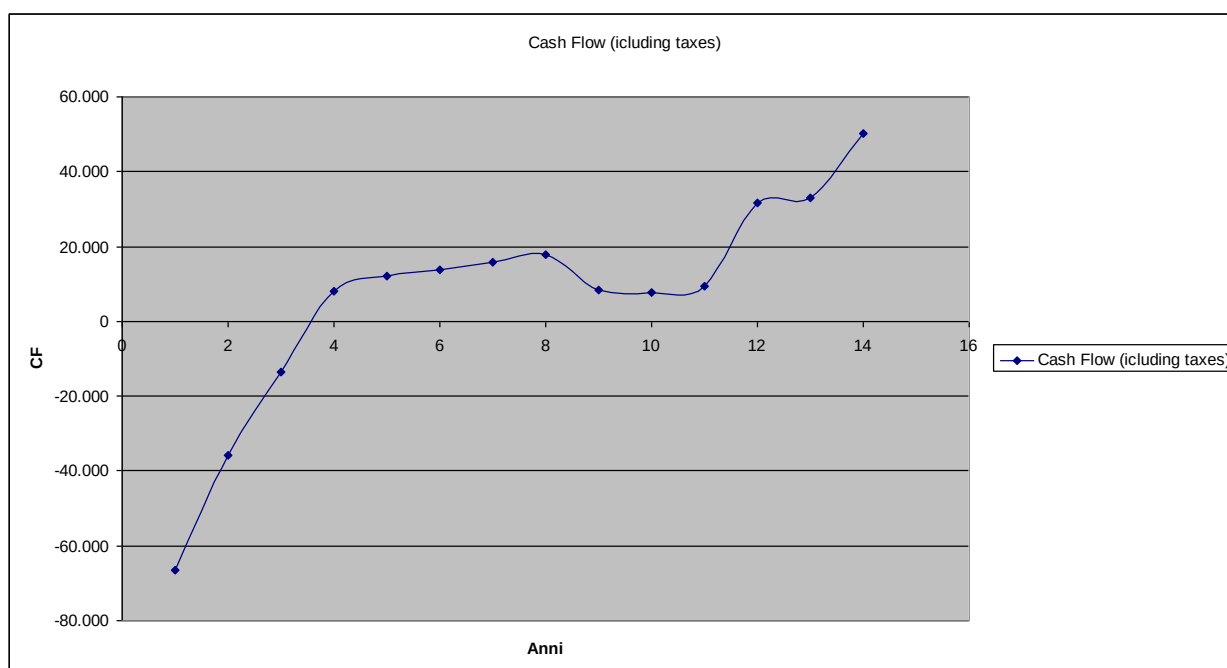


Figura 118: Andamento tipico di un Cash Flow nell'arco di 15 anni con entrate variabili intermedie

Il Valore Attuale Netto relativo è dato da:

$$VANr^m = \frac{B^m - C^m}{C^m} = \frac{B^m}{C^m} - 1 \quad [42]$$

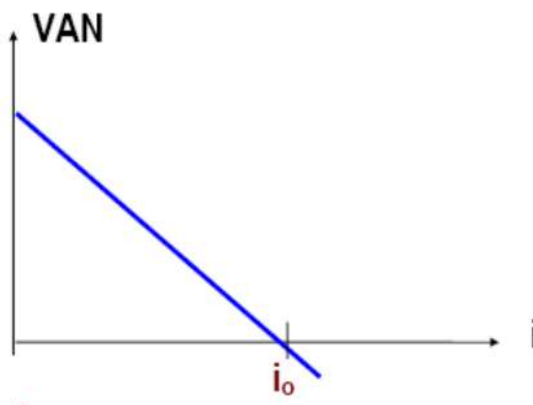


Figura 119: Determinazione del TIR (=i₀)

⁴⁷ In Figura 118 il tempo di pay-back è dato dall'ascissa di intersezione della curva cumulativa con l'asse dei tempi.

Si definisce **Tasso Interno di Rendimento** (TIR) la condizione:

$$B^m - C^m = 0$$

che, come già detto, va valutata per iterazioni essendoci problemi legati al calcolo delle radici del polinomio.

Il **valore attuale** del flusso di cassa (indicato universalmente con l'acronimo NPV, *Net Present Value*) è dato dalla seguente espressione:

$$NPV = \frac{\sum_{n=1}^N nA_{CF_n}}{(1+i)^n} \quad (43)$$

dove si ha il simbolismo:

- i *tasso di attualizzazione*⁴⁸;
- n *anno di vita considerato dell'iniziativa*;
- N *tempo di vita dell'impianto o dell'iniziativa. Questo tempo è dettato, spesso, da considerazioni finanziarie quali, ad esempio, tempo di estinzione del mutuo bancario avuto per l'investimento o la durata di una concessione pubblica o contrattuale di una iniziativa. Normalmente varia fra 15 e 20 anni anche se si possono considerare tempi più lunghi.*

L'indice IIR (*Indice di Redditività Interno*) si ha quando è NPV=0. Questo indice è considerato fra i più importanti per la valutazione economica perché sintetizza numerosi aspetti economici che il *Tempo di Ritorno*⁴⁹ o il *Valore Attuale* da soli non consentono di vedere. Questi ultimi due parametri sono, però, accessori all'IIR e comunque richiesti per la valutazione economica.

È indicato con *Valore Attuale Netto* di un investimento I nel periodo N e valore attuale NPV la differenza:

$$VAN = NPV - I \quad (44)$$

Si definisce *Indice di Profitto*, IP, il rapporto tra la somma dei flussi di cassa lordi attualizzati e il valore degli investimenti. Nel caso in cui l'intero investimento sia riferibile al momento iniziale allo si ha:

$$IP = \frac{VAN + I}{I} = \frac{NPV}{I} \quad (45)$$

Si definisce inoltre *Redditività dell'Investimento*, RI, il rapporto:

$$RI = \frac{VAN}{I} \quad (46)$$

Sono oggi molto usati alcuni indici di derivazione anglosassone e in particolare il *Tasso di Redditività*, ROI (*Return of Investment*), definito dal rapporto fra l'utile medio annuale e l'investimento iniziale. L'utile medio annuale è definito come differenza tra il risparmio annuale medio R e la quota di ammortamento della spesa iniziale S_a , pertanto si ha:

⁴⁸ L'attualizzazione tiene conto della svalutazione del denaro per effetto degli interessi (tasso di sconto) da pagare al finanziatore per avere disponibile la somma S al momento iniziale dell'investimento. Il valore di S fra n anni con interessi i è $V = S/(1+i)^n$ e V è detto *valore attuale* della somma S al tasso di sconti i dopo n anni.

⁴⁹ Si può avere un tempo di ritorno breve ma poi un cash flow minore per effetto della variabilità dei parametri, come già osservato. Così pure, il valore attuale può essere piccolo ma essere alla fine del tempo di vita dell'impianto e quindi poco importante per l'iniziativa.

$$TR = ROI = \frac{R - S_a}{I} \quad (47)$$

Osservazione sul metodo del Net Cash Flow

Il metodo del flusso di cassa netto consente di determinare una innumerevole quantità di indici (più o meno richiesti dalle banche in sede di certificazione del *business plan*) ma occorre fare molta attenzione al valore reale che il metodo può avere. Esso, infatti, si basa sulla *presunzione* di prevedere gli andamenti a lungo termine dei vari parametri finanziari oltre che dei costi e dei ricavi.

Non è assolutamente facile arrivare a tanta sicurezza specialmente se le previsioni si estendono oltre i cinque anni. Un esempio può chiarire quanto appena enunciato. Se si vuole esaminare la convenienza economica di un SET nell'arco di venti anni si deve inevitabilmente assumere un costo dell'energia primaria (gasolio, gas metano, ...) che è certamente noto al momento della stesura dello studio ma che è del tutto imprevedibile nel corso dei successivi venti anni.

Si suole ipotizzare uno *scenario di sviluppo dei costi* che è più o meno cabalistico poiché nessun operatore economico può prevedere l'evoluzione geopolitica delle regioni fornitrici di materie prime per l'energia (paesi arabi, Russia, Regioni africane, ...).

Basta un piccolo conflitto regionale o un'ipotesi di conflittualità in una regione della terra per innescare una spirale non controllabile di innalzamento dei prezzi. In questi mesi stiamo vivendo una situazione che esemplifica molto bene quanto appena detto: il costo del barile di grezzo è passato nel giro di sei mesi da 14 a 34 \$/barile.

All'inizio degli anni settanta, con la prima grande crisi petrolifera innescata dai conflitti arabo – israeliani, il costo del petrolio sembrava aumentare del 15% all'anno e certo una tendenza del genere avrebbe innescato eventi catastrofici sulle economie degli stati importatori di petrolio.

Dopo circa un paio d'anni il costo del barile scese dai circa 40 \$ ai 12 \$ annullando tutte le previsioni possibili, da quelle ottimistiche a quelle pessimistiche. Allo stesso modo è difficile prevedere il costo del denaro per lunghi periodi a causa della contingenza economica ormai su scala mondiale.

La sostanziale insicurezza delle previsioni di cassa rende il metodo del *cash Flow* sostanzialmente approssimato e quindi poco affidabile. Per questo motivo, ad esempio, le banche richiedono molti indici economici poiché ognuno di essi presenta suscettibilità di errore differenziati.

Inoltre la prevedibile imprecisione dei flussi di cassa porta a richiedere indici non solo elevati, e quindi sinonimi di convenienza economica dell'iniziativa esaminata, ma le banche si mettono al riparo da sorprese possibili richiedendo valori *più elevati del necessario* in modo da essere sicure che l'iniziativa possa recuperare liquidità anche in situazioni contingenti molto sfavorevole. Così, ad esempio, non basta che, detratte le tasse, un'iniziativa renda il 20% (valore già elevato!) ma si chiede che la redditività netta sia superiore al 30÷35% (*enorme!*).

Si può intuire quale sia la *ratio* di una simile richiesta: una redditività molto alta garantisce un ritorno degli investimenti in un numero limitato (2÷4) di anni e quindi le possibilità di rischio si riducono fortemente quanto minore è il tempo di *pay back*.

In genere gli indici economici di breve periodo forniscono più sicurezza alle banche rispetto ad altri di lungo periodo.

9.7.3 TEMPO DI RITORNO ATTUALIZZATO DELL'INVESTIMENTO, TRA

E' già stato definito come il tempo necessario a riacquistare l'investimento iniziale (attualizzato) e il metodo del flusso di cassa consente facilmente, vedi l'esempio di Figura 118, di trovarlo come valore dell'ascissa d'intersezione con la curva del cash flow.

Questo tempo (*Discounted pay back, DPB*) assume un significato notevole, come illustrato in precedenza, poiché fino a quel momento *l'investitore è esposto a perdite finanziarie* e quindi incapace di riacquistare (e quindi le banche non possono riavere) l'investimento iniziale.

Si osservi che nel lungo periodo, cioè nel tempo di vita dell'impianto o in genere dell'iniziativa, non è detto che quanto minore è il TRA tanto migliore è l'iniziativa poiché dopo questo periodo si possono avere capovolgimenti di ogni sorta. Un'iniziativa può essere più favorevole nel lungo periodo di un'altra anche se con TRA maggiore. Pur tuttavia, anche ai fini di un recupero del credito da parte di enti finanziatori, il TRA riveste grandissima importanza e l'analisi di cassa in questo breve periodo (rispetto alla durata dell'iniziativa che normalmente è di 15÷20 anni) sia quanto più precisa e coscienziosa possibile. Superato il TRA l'iniziativa risulta comunque remunerativa e con indici economici variabili in base al flusso di cassa del periodo successivo fra il TAR e la vita prevista per l'iniziativa. Un TRA ridotto è preferito anche nei periodi congiunturali meno favorevoli per uno stato.

Nel caso in cui il TRA è di pochi anni si può abbandonare l'ipotesi di attualizzare i costi e flussi di cassa. In questo caso il rapporto fra l'investimento I e il risparmio R fornisce il *Tempo di ritorno Semplice*, TRS (*SPB Simple Pay Back*). Si tratta di una stima immediata ed efficace sulla proponibilità dell'iniziativa anche se i flussi considerati non sono attualizzati.

9.7.4 ANALISI DI SENSITIVITÀ

L'incertezza nella previsione dei flussi di cassa e quindi dell'analisi finanziaria giustifica la necessità di conoscere entro quali limiti la realtà può discostarsi dalla previsione senza subire una perdita finanziaria. Quanto detto comporta *l'analisi di sensitività* del valore attuale netto, VAN, rispetto alla variazione di uno o più parametri finanziari rispetto ai valori nominali previsti. È utile conoscere il valore limite di un parametro finanziario per cui il VAN si annulla: esso rappresenta il limite del campo di convenienza dell'investimento.

Il *Tasso Interno di Redditività*, (che gli anglosassoni indicano con IIR *Internal Rate of Return*) introdotto in precedenza come il tasso di attualizzazione che rende nullo il VAN nel periodo previsto per l'investimento, va visto nell'ottica dell'analisi di sensitività. Poiché il *tasso di sconto* non è mai certo nel lungo periodo allora l'IIR indica il valore limite del tasso che annulla i guadagni (o meglio il VAN) nel periodo previsto.

Pertanto quanto maggiore è la differenza fra il *Tasso di Sconto previsto* in analisi e l'IIR tanto minore è il rischio legato alla variabilità (o stima approssimata) di questo parametro.

L'analisi di sensitività può essere estesa anche ad altri parametri, oltre il tasso di sconto, e in genere si individuano quei parametri che influenzano il risultato economico e finanziario dell'iniziativa e che più sono soggetti ad imprecisione di valutazione iniziale.

In genere si calcola l'IIR in funzione di ciascuno di questi parametri, a parità di altre assunzioni, per cui è possibile individuare il valore limite del parametro nell'ambito della convenienza dell'impianto (o dell'iniziativa) che corrisponde ad un dato IIR così calcolato pari al tasso di sconto *i*.

Fra i parametri che interessano gli impianti SET sono da considerare il costo dell'energia primaria, il fatturato, la spesa di investimento (specialmente se il periodo di costruzione dell'impianto non è breve). L'analisi di sensitività può essere oggi condotta con strumenti di calcolo sofisticati e computerizzati. In ogni caso è sempre bene ricorrere ad uno specialista finanziario per evitare di incorrere in errori grossolani.

9.7.5 INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI

Gli effetti possono essere diretti e indiretti su beni e servizi. In particolare:

- *diretti: legati alle variazioni di domanda e di offerta dei beni legati al progetto.*
- *indiretti: legati alle conseguenze che si determinano sugli altri mercati.*

Effetti diretti e indiretti sui beni possono essere incommensurabili e intangibili (ad esempio vita, ambiente, tempo).

Per valutare gli effetti si può scegliere il criterio ossia come valutare il costo-opportunità dei benefici:

- *prezzi di mercato*
- *prezzi ombra.*

I prezzi – ombra (p-o) sono quelli che si avrebbero se l'economia fosse concorrenziale. Per ottenerli occorre depurare i prezzi dei market non concorrenziali dalle componenti legate agli extraprofitti da potere di mercato e dagli effetti degli altri fallimenti del mercato.

9.7.6 INVESTIMENTO

L'investimento è il costo complessivo che deve esser sostenuto per potere avviare la produzione del flusso di cassa per il numero di periodi (anni) t . L'investimento è dato dalle seguenti componenti:

- *prezzo netto degli impianti e degli apparati in genere;*
- *costo del trasporto;*
- *costo del montaggio;*
- *costo di progettazione;*
- *costo di avviamento;*
- *costo di manutenzione.*

L'investimento complessivo è dato dalla somma dei costi, come sopra determinati, meno gli eventuali recuperi (ad esempio, vendita di vecchi apparati).

Il periodo di analisi, t , è di solito dato dal *tempo di vita* previsto per l'investimento (ad esempio per l'impianto) in modo tale che l'investimento abbia la possibilità di produrre un flusso di cassa. In Tabella 42 si riportano i tempi di vita di impianti apparecchiature di interesse per il retrofitting degli impianti. I valori indicati sono indicativi e possono essere variati in funzione delle esigenze particolari di analisi e di calcolo.

INTERVENTO	ANNI DI VITA
<i>Pompa di calore per riscaldamento acqua sanitaria</i>	8
<i>Tecnologie solari passive</i>	20
<i>Sistemi integrati di controllo e contabilizzazione differenziata</i>	12
<i>Trasformazione di impianto termico centralizzato in impianti unifamiliari a gas</i>	10
<i>Sistemi telematici per il controllo e la conduzione di impianti di climatizzazione</i>	10
<i>Produzione combinata di energia elettrica e calore</i>	10
<i>Installazione generatore di calore ad alto rendimento</i>	12
<i>Miglioramento coibentazione in edilizia</i>	20
<i>Sistemi di illuminazione ad alto rendimento</i>	12
<i>Collettori solari per riscaldamento acqua per usi collettivi</i>	10
<i>Pompa di calore per riscaldamento ambienti</i>	8
<i>Collettori solari per riscaldamento ambienti</i>	10

<i>Collettori solari per riscaldamento acqua calda sanitaria domestica</i>	10
<i>Trasformazione dell'impianto termico</i>	12
<i>Miglioramento serramenti</i>	20
<i>Interventi integrati in edilizia</i>	12
<i>Sistemi fotovoltaici</i>	15
<i>Miglioramento coibentazioni tecnologiche</i>	12
<i>Combustione di residui vegetali</i>	12
<i>Trasporto fluviale di merce</i>	20
<i>Forni industriali</i>	15
<i>Recupero di calore con sistemi a fluido idrotermico</i>	12
<i>Sostituzione generatore di calore</i>	12
<i>Cogenerazione con motori a combustione interna</i>	10
<i>Aumento sezione conduttori elettrici</i>	20
<i>Rifasamento linee elettriche del proponente</i>	15
<i>Sostituzione motori elettrici</i>	8
<i>Pompa di calore elettrica</i>	8
<i>Recupero di calore</i>	12
<i>Collettori solari per fini diversi dal riscaldamento ambienti</i>	10
<i>Pompa di calore trascinata da motore primo</i>	8
<i>Sistemi eolici</i>	15
<i>Sfruttamento biogas</i>	12
<i>Sigillatura vetri di serre</i>	3
<i>Teli di protezione notturna sulle serre</i>	10
<i>Installazione doppi vetri nelle serre</i>	12

Tabella 42: Tempi di vita di alcuni interventi

Si osservi che se il progetto in esame va in obsolescenza durante il periodo di vita (ad esempio con l'uscita di nuovi e più competitivi impianti o macchinari) allora si deve modificare il calcolo del VAN suddividendolo in più periodi.

9.7.7 INTERESSE DI CALCOLO

Nelle precedenti valutazioni si suppone che il tasso di interesse i sia costante per il periodo di valutazione. In realtà l'interesse può variare di anno in anno (e anche più volte all'anno) per cui le relazioni vanno aggiornate ai vari periodi.

La variazione degli interessi è anche influenzata dall'influenza dell'inflazione reale del denaro. In realtà le relazioni devono tenere conto anche del fattore $(1-f)^t$ ove f è il tasso inflattivo che si suppone nel periodo. Pertanto per i benefici si ha:

$$b_t^m$$

$$B^m = \sum_{t=0}^n b_t^m \frac{(1-f)^t}{(1+i)^t} \quad [48]$$

e per i costi:

$$c_t^m$$

$$C^m = \sum_{t=0}^n c_t^m \frac{(1-f)^t}{(1+i)^t} \quad [49]$$

9.7.8 NORMA PRRN 15459 - VALUTAZIONI ECONOMICHE STANDARD

La norma è predisposta per la valutazione economica dei sistemi energetici nell'edilizia. Inizialmente definisce le formule di base.

Rateo di interesse reale

Il rateo di interesse reale dipende dall'interesse di mercato R e dal tasso di inflazione R_i secondo la relazione:

$$R_R = \frac{R - R_i}{1 - R_i} \quad [50]$$

Tasso di sconto

Il tasso di sconto dipende dall'interesse reale R_R e dall'anno del costo considerato (p). Nell'anno T_0+p il tasso di sconto vale:

$$T_s = \left(\frac{1}{1 + R_R} \right)^p \quad [51]$$

Fattore del valore presente

Il fattore del valore presente (*Present Value*) dipende dai tassi sopra indicati e dall'anno (n) considerato per il costo:

$$f_{pv}(n) = \frac{1 - (1 + R_R)^{-n}}{R_R} \quad [52]$$

Fattore di annualità

E' l'inverso del fattore del valore presente:

$$a(n) = \frac{1}{f_{pv}(n)} \quad [53]$$

9.7.9 COSTO GLOBALE

I calcoli si riferiscono all'investimento iniziale C_i , il valore presente del costo annuale per ogni anno (i) e il valore finale di ciascun componente o sistema (j). Il costo globale è legato alla durata del periodo di calcolo T :

$$C_G(T) = C_i + \sum_{i=1}^T (C_{a(i)} \cdot f_{pv}(i)) - \sum_j V_{T-f}(j) \quad [54]$$

I calcoli dinamici introducono variazioni annuali del tasso d'inflazione e dell'evoluzione dei prezzi dell'energia nonché di costi correlati di funzionamento e manutenzione.

La norma propone il calcolo delle manualità e del valore finale dei componenti e indica una tabella di vita media di vari componenti di impianto. Si rimanda alla norma per maggiori dettagli.

9.7.10 CASO ESEMPIO

Una scuola costruita negli anni 'cinquanta è stata oggetto di uno studio di riqualificazione energetica. Si presenta un riepilogo dei costi delle ipotesi di intervento prese in esame.

La centrale termica era composta da una caldaia per l'impianto di riscaldamento a metano da 640 kW con vaso di espansione del tipo aperto. Per la produzione di acqua calda sanitaria era prevista una caldaia a metano da 120 kW.

La regolazione elettronica presente era di tipo P-PI con sonda master esterna e valvola a tre vie in centrale termica.

L'edificio esistente, senza alcun intervento di ripristino, risulta in classe G ($EP_i=23.3$ kWh/(m³.anno) per edilizia scolastica. L'incidenza dei dispendimenti termici delle strutture esistenti è riportato nella figura seguente.

Per la riqualificazione energetica si sono ipotizzati i seguenti interventi.

Interventi sulle pareti

Si è presa in considerazione l'inserimento di isolante esterno del tipo intonaco isolante costituito da leganti idraulici a cui sono aggiunti materiali isolanti (polistirolo, polistirene, perlite o vermiculite in granuli espansi).

E' stata presa anche in considerazione l'inserimento di una parete ventilata con isolamento a cappotto. L'inserimento di isolante nella faccia interna della parete può essere effettuato con pannelli di lana di roccia e controparete in cartongesso.

Alla fine si è optato per l'inserimento di urea nelle intercapedini delle pareti in quanto questi lavori sono meno invasivi per la scuola.

In copertura si prevede l'inserimento di strati di materiale isolante posto, ove possibile, sull'estradosso.

Interventi sulle finestre

Si prevede di sostituire gli attuali infissi a vetro singolo con infissi con vetro camera basso emissivo. Inoltre si prevede l'installazione di guarnizioni in gomma negli infissi per incrementare la tenuta. Anche il cassonetto delle finestre è soggetto ad isolamento termico per evitare dannosi ponti termici.

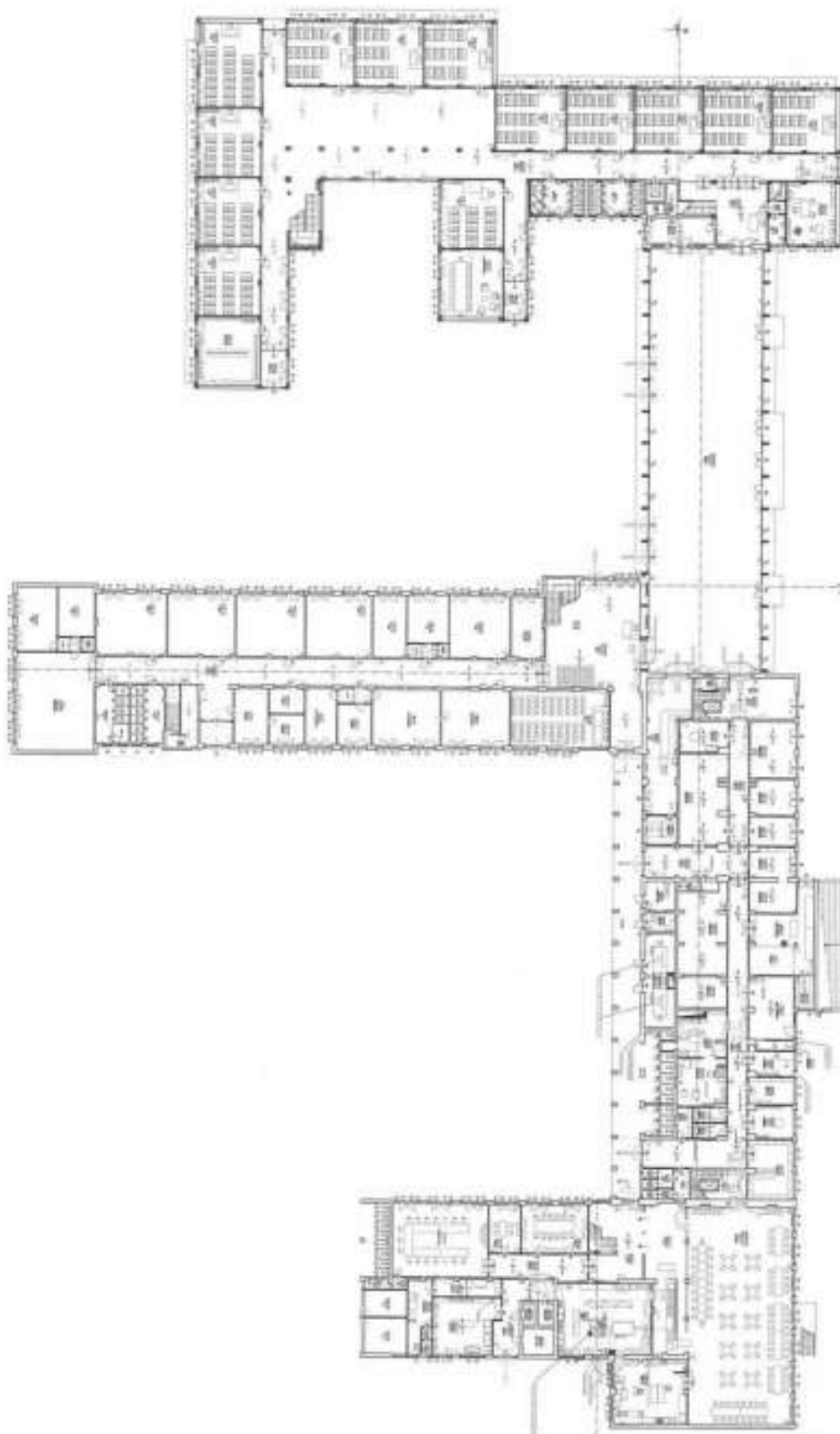


Figura 120: Planimetria della scuola

LEGENDA

- 1 POMPAGAS OM - G15 3002
- 2 VALVOLA INTERCETTAZIONE COMBUSTIBILE
- 3 GRUPPO TERMICO CASPESKY
- 4 TERMOSTATO DI ESERCIZIO - STURBECK - BLOCCO BARRI MINIMALE
- 5 PRESSOSTATO TERMOMETRICO
- 6 TERMOMETRO T-125°C
- 7 MONTOMETRO T-125°C CON ISOLAMENTO A RAGGIA
- 8 VASO ESPANSIONE LT. 1000
- 9 SCINTILLANTE
- 10 REGOLATORE DEL MINIMO
- 11 VALVOLA MISCELTORICE MOTORIZZATA A TRE VIE
- 12 VORDA D'INTEFERENZA COMPLESSIVA
- 13 ELETTROCOMANDI ELEVARE

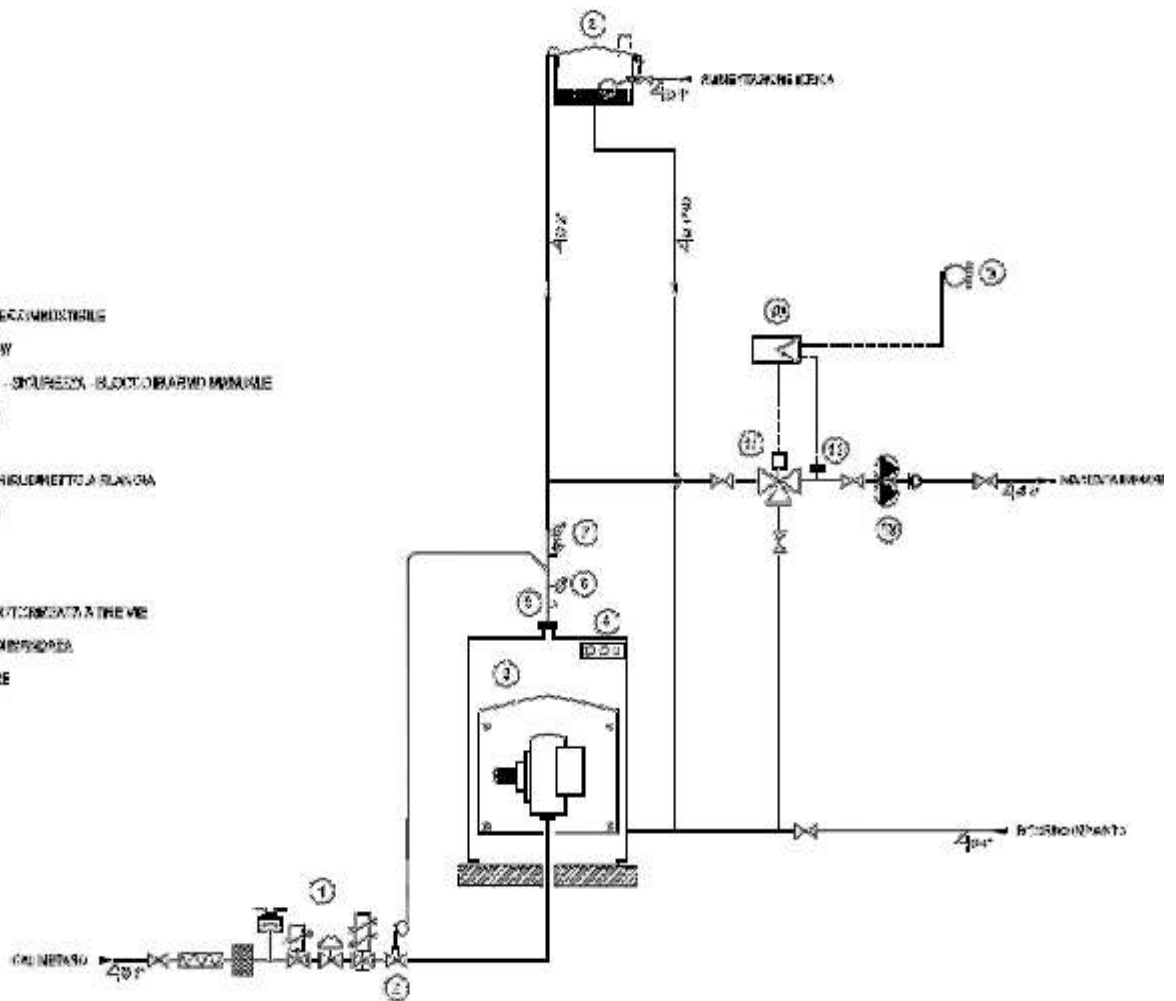


Figura 121: Schema della centrale termica esistente per il riscaldamento

LEGENDA

- 1 POMPAGAS OM - G15 3002
- 2 VALVOLA INTERCETTAZIONE COMBUSTIBILE
- 3 GRUPPO TERMICO CASPESKY
- 4 GRUPPO TERMICO CASPESKY
- 5 PRESSOSTATO TERMOMETRICO
- 6 TERMOMETRO T-125°C
- 7 MONTOMETRO T-125°C CON ISOLAMENTO A RAGGIA
- 8 VASO ESPANSIONE LT. 1000
- 9 SCINTILLANTE
- 10 REGOLATORE DEL MINIMO
- 11 VALVOLA MISCELTORICE MOTORIZZATA A TRE VIE
- 12 VORDA D'INTEFERENZA COMPLESSIVA
- 13 ELETTROCOMANDI ELEVARE
- 14 SCINTILLANTE
- 15 SCINTILLANTE
- 16 SCINTILLANTE
- 17 GRUPPO TERMICO

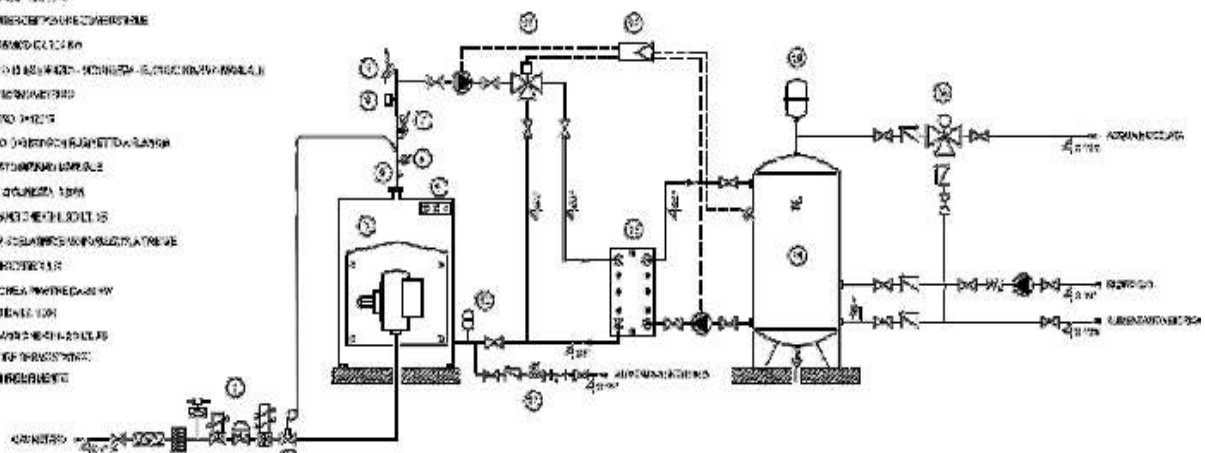


Figura 122: Schema della centrale esistente per ACS

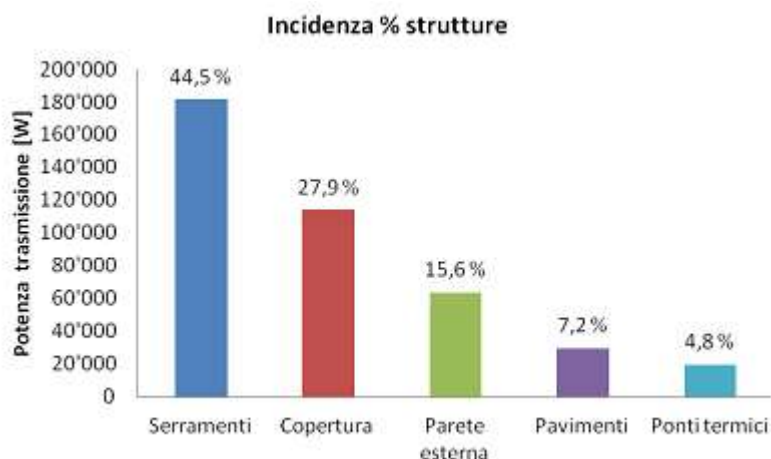


Figura 123: Incidenza dei serramenti delle strutture esistenti

Interventi sull'impianto

Per effetto della riduzione del carico termico conseguente alle opere di riqualificazione sopra indicate si è optato per la sostituzione dei generatori termici a metano con una pompa di calore idronica da 150 kW con serbatoio da 500 L, con potenza elettrica assorbita di 45 kW trifase.

Si prevede anche la sostituzione dei corpi scaldanti esistenti (radiatori in acciaio) con termoconvettori dotati di regolazione di ambiente con sonda termica e valvola a tre vie.

Per la produzione di ACS (calcolata in 2250 L/giorno) si è predisposto un impianto solare termico integrato da una caldaia a gas da 15 kW. Infine, anche per l'osservanza del D.Lgs. 28/2011, si è inserito nella copertura della scuola un impianto fotovoltaico da 85 kW.

Risultati ottenuti

Per effetto degli interventi sopra indicati si ha un $EP_i = 2.4 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{an})$ e l'edificio, anche per effetto dell'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili e della pompa di calore, si porta in classe A.

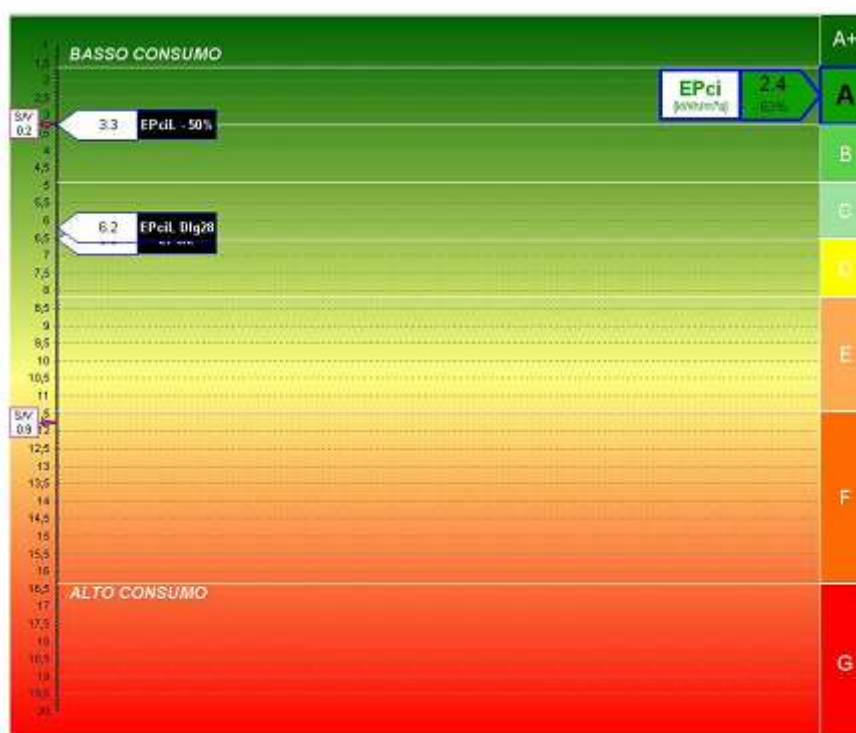


Figura 124: Nuova verifica energetica dell'edificio con gli interventi ipotizzati

9.7.11 VALUTAZIONI ECONOMICHE

In figura seguente si ha un grafico circolare con l'incidenza economica per ciascuno degli interventi ipotizzati. Il costo totale di tutti gli interventi è pari a € 991.843,00.



Figura 125: Incidenza economica delle ipotesi di intervento

L'analisi dei flussi di cassa, compresa la vendita dell'energia elettrica prodotta con l'impianto fotovoltaico, porta ad NPV= 125000 €. L'analisi dei tempi di ritorno è riportato in figura seguente dalla quale si evince che un intervento globale, somma di tutti gli interventi proposti (che portano l'edificio in Classe A e conforme a tutte le norme vigenti), ha un tempo di ritorno di 8,57 anni.

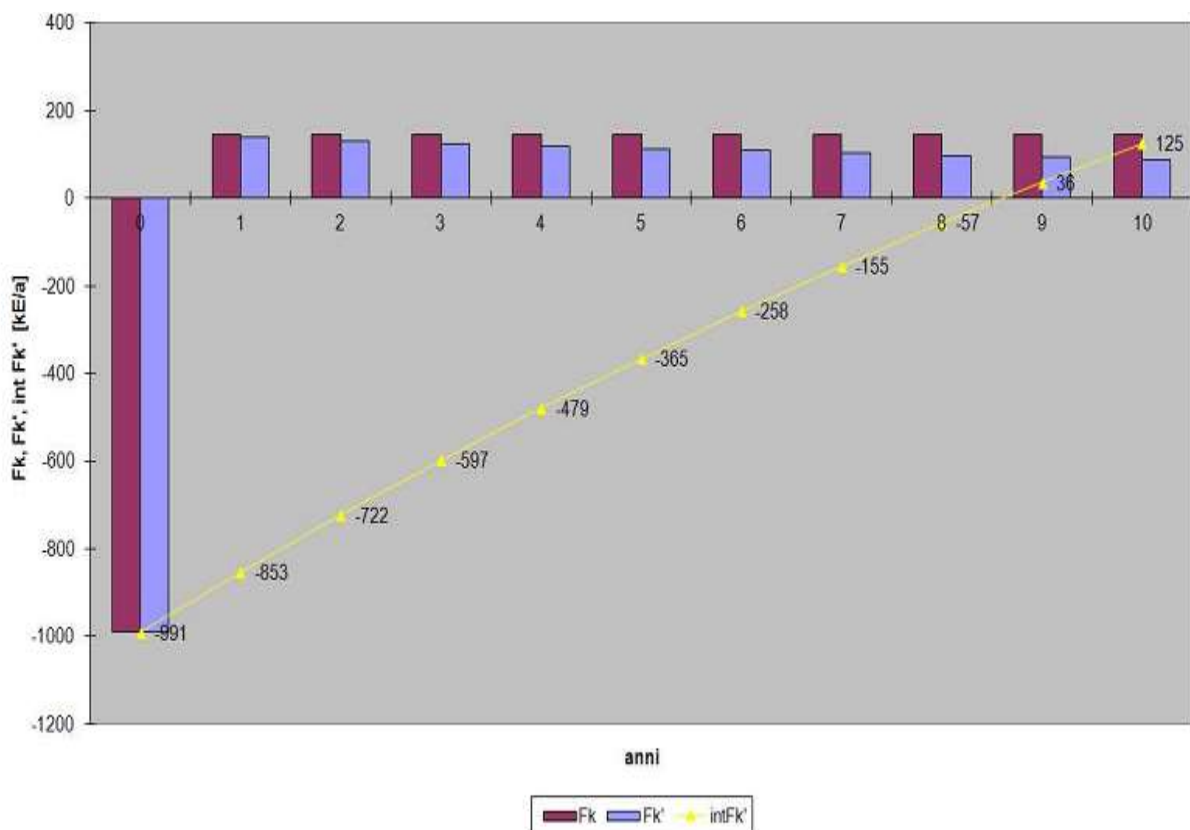


Figura 126: Flussi di cassa e tempi di ritorno

Considerando la variazione di classe energetica (dalla G alla A) si calcola una riduzione di energia annuo pari al 90% rispetto alla situazione iniziale.

9.7.12 VALUTAZIONE DEI BENEFICI FIGURATIVI DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Un'analisi economica si basa sulla valutazione dei costi e benefici degli interventi ipotizzati. Tuttavia non tutti i benefici sono quantificabili e monetizzabili. Alcuni di essi sono *figurativi* e, probabilmente, costituiscono anche la parte più importante dei risultati ottenibili.

Ad esempio sono figurativi:

- *L'aumento del comfort interno per effetto dell'isolamento alle pareti. L'incremento della temperatura superficiale interna aumenta la temperatura media radiante avvicinandola a quella di progetto ($t_a=t_{mr}$);*
- *L'isolamento termico delle pareti è spesso anche isolamento acustico e quindi si ottiene un maggior potere fonoisolante delle pareti esterne, ciò che migliora i requisiti acustici passivi degli edifici;*
- *L'utilizzo di infisso a vetro camera riduce le trasmissioni di calore fortemente, specialmente se confrontate con i vecchi vetri semplici, ma aumentano anche il potere fonoisolante delle superfici finestate e quindi migliorano il comfort acustico;*
- *L'uso di schermi esterni (fissi o mobili) riduce il soleggiamento sulle superfici interne degli ambienti riducendo l'azione di danneggiamento (invecchiamento e scolorimento) dei mobili, dei quadri e quant'altro colpito dalle radiazioni solari. Inoltre il fattore di luce diurna viene riportato a valori inferiori con vantaggio (minore rischi di abbagliamento diurno) del comfort visivo;*
- *L'utilizzo di generatori termici ad alta efficienza, unitamente agli interventi sull'involucro, riducono i consumi di energia primaria a tutto vantaggio, non solo economico diretto sui costi di esercizio (per altro quantificabili) ma anche sulle emissioni di CO₂ e sugli effetti economici (indiretti) di riduzione delle importazioni di prodotti petroliferi. Gli effetti di inquinamento atmosferico si riducono notevolmente. Si tratta di vantaggi importanti per la collettività che, tuttavia, non risultano oggi quantificabili.*
- *L'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, comprese le stesse pompe di calore, riduce l'energia primaria fornita all'edificio con indubbi vantaggi, oltre che economici, anche sull'inquinamento e sull'economia nazionale.*

Da quanto esposto consegue che il tempo di ritorno o il NPV di un'analisi economica non sono i soli riferimenti decisionali per gli interventi di riqualificazione energetica.

9.8 CONSIDERAZIONI FINALI SULLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

E' bene considerare il fatto che una riqualificazione energetica di un edificio non è un intervento di ristrutturazione classico e non si limita a spostare tramezzi o a rintonacare l'edificio.

Un intervento di riqualificazione energetica è molto incisivo e, a seconda della tipologia e qualità degli interventi da effettuare, può incidere notevolmente anche sulla stessa immagine dell'edificio.

Seguono alcune immagini di interventi di riqualificazione energetica che meglio forniscono l'idea della portata e della qualità degli interventi effettuati.



Figura 127: Esempio di riqualificazione energetica



Figura 128: Esempio di inserimento di schermi mobili esterni



Figura 129: Esempio di schermatura esterna



Figura 130: Riqualificazione energetica di una biblioteca



Figura 131: Viste dell'edificio post-intervento



Figura 132: Vista notturna dell'edificio

10. PROGETTO IMPIANTI DI RISCALDAMENTO*

10.1 LE PROBLEMATICHE DEGLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO

Si è già detto in precedenza che l'evoluzione delle tecniche costruttive (edifici sempre più leggeri e con scarsa capacità termica) ha provocato uno scompenso funzionale che ha amplificato le variazioni delle temperature interne degli edifici stessi avvicinandole sempre più a quelle esterne.

Le condizioni climatiche variano moltissimo da regione a regione e anche nella stessa regione (in Sicilia, ad esempio, si hanno tutte le classi climatiche previste in Italia, come si vedrà nel prosieguo).

Non sempre si è nelle condizioni, assolutamente privilegiate, di potere fare a meno⁵⁰ di integrazioni energetiche nel periodo invernale. Quasi sempre occorre fare in modo che le condizioni ambientali interne di comfort siano raggiunte con l'ausilio di opportuni impianti che chiameremo, per il periodo invernale, di riscaldamento.

Si osservi tuttavia che, per quanto detto sulla classificazione degli impianti e per le condizioni di benessere interne degli edifici, una corretta climatizzazione deve controllare le tre variabili fisiche T , ϕ e v . La velocità v è controllabile mediante il sistema di distribuzione del calore all'interno degli ambienti (ad esempio con radiatori, con termoventilconvettori, con pannelli radianti, con bocchette di immissione dell'aria calda, ...) mentre la temperatura T e l'umidità relativa ϕ sono controllate dagli impianti di climatizzazione.

Gli impianti di riscaldamento, di cui parlerà in questo volume, hanno una limitazione: essi consentono di controllare solamente la temperatura degli ambienti e non l'umidità. E' infatti esperienza comune che d'inverno si ha un essiccamento dell'aria, per effetto del riscaldamento, che spesso viene bilanciato con l'utilizzo di bacinelle poste sopra i radiatori o con veri e propri umidificatori dell'aria.

Pertanto è bene ricordare che gli impianti di riscaldamento sono solo impianti parziali che lasciano fluttuare l'umidità dell'aria. Analogamente in estate abbiamo gli impianti di solo raffrescamento (ad esempio con impianti split che si esamineranno nel Volume 2°) che lasciano fluttuare l'umidità.

I veri impianti di climatizzazione piena sono quelli di condizionamento (o di climatizzazione) che consentono il controllo di tutte e tre le variabili fisiche.

⁵⁰ Si osservi che per effetto delle radiazioni solari che penetrano negli ambienti (apporti gratuiti) si può avere la condizione favorevole di non dovere ricorrere agli impianti di riscaldamento. E' quello che avviene, ad esempio, in Sicilia, nelle ore diurne.

10.2 LE FASI PROGETTUALI DEGLI IMPIANTI TECNICI

Le procedure di calcolo per la progettazione degli impianti tecnici possono così essere schematizzate:

- 1. Individuazione delle specifiche di progetto (cioè dei dati progettuali quali la temperatura interna, esterna, umidità relativa ambiente, velocità dell'aria ambiente, qualità dell'aria, ...)*
- 2. Calcolo dei carichi termici della struttura in funzione delle condizioni ambientali esterne ed interne (microclima da realizzare);*
- 3. Scelta della tipologia impiantistica da realizzare per raggiungere le specifiche di progetto;*
- 4. Dimensionamento dei componenti di impianto;*
- 5. Schematizzazione della soluzione impiantistica (layout degli impianti);*
- 6. Dimensionamento delle reti di distribuzione dei fluidi di lavoro;*
- 7. Disegno esecutivo degli impianti.*

Nel prosieguo vedremo nel dettaglio ciascuna delle fasi sopra indicate. Si tenga presente che lo sviluppo del corso è attuato su più volumi e pertanto le varie fasi sono trattate soprattutto nei primi tre volumi.

Vediamo adesso brevemente di illustrare le varie fasi sopra indicate, rimandando il lettore agli sviluppi dettagliati nei prossimi capitoli.

Si tenga presente, tuttavia, che la progettazione impiantistica richiede una conoscenza delle problematiche che può essere raggiunta solo con l'esperienza giornaliera in questo capitolo.

Si presentano, di seguito, alcuni criteri di progetto che non debbono ritenersi esaustivi della complessa problematica progettuale. Si farà riferimento a componenti di impianto che saranno esaminati nel capitolo successivo in maggior dettaglio.

Le regole qui esposte sono da intendersi come linee guida per la progettazione. Ciascun allievo potrà sperimentare di persona le problematiche progettuali consultando manuali tecnici specializzati e materiali divulgativi spesso resi disponibili dalle industrie del settore.

Si esaminano più dettagliatamente le fasi progettuali sopra indicate.

10.3 SPECIFICHE DI PROGETTO

Si tratta di determinare, ricercare o precalcolare i parametri di progetto da realizzare. Spesso questi dati sono imposti dall'esterno (specifiche di *Capitolato*) sono imposti da norme tecniche specifiche (come, ad esempio, avviene con la *L. 10/91* o anche del recente *D.Lgs 192/05* e *D.Lgs 311/06*). Su questi argomenti si rinvia al capitolo precedente.

In altri casi occorre valutare le condizioni migliori in funzione della destinazione d'uso degli edifici. Ad esempio, si potranno calcolare le migliori condizioni termoigrometriche per edifici civili (metodo di *Fanger*) al variare dell'attività degli occupanti e delle prestazioni impiantistiche.

In ogni caso occorre sempre avere ben chiari questi dati perché da essi dipende tutto il prosieguo delle fasi progettuali e la buona riuscita del progetto. Nel prosieguo si vedranno con maggior dettaglio le specifiche per gli impianti tecnici nella edilizia.

Comune di **CATANIA (CATANIA)**

Progetto per la realizzazione di (tipo edificio)

Edificio di civile abitazione

Opere relative a nuova costruzione

sito in CATANIA

via/p.zza Via P.zza Corso Viale

Concessione edilizia n° **del**

Classificazione edificio E.1(1) abitazione adibita a residenza con carattere continuativo

Numero unità abitative 1

Committente

Progettista impianto nome e cognome...

Progettista isolamento nome e cognome...

Direttore impianto nome e cognome...

Direttore isolamento nome e cognome...

Consistenza demografica < 50.000

Situazione esterna in piccolo agglomerato

Figura 133: Esempio di richiesta di dati di progetto

Località	CATANIA		Periodo riscaldamento ZONA .. B	
Comune	CATANIA		Inizio	01-12
Provincia	CATANIA		Fine	31-03
Altitudine	7	Clearness number	1.00	
Latitudine	37°30'	Longitudine	15°05'	
Temp. esterna	5	Località rif. TE	CATANIA	
Gradi giorno	833	Località rif. GG	CATANIA	
		VENTO:		
		Zona	3	Località rif.
		Velocità	4.40	Direzione
		Consistenza demografica		
		<50.000		

DATI CLIMATICI MENSILI

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Hbh	5.7	7.7	10.5	14.1	18.6	21.6	22.1	19.8	14.1	9.2	6.6	5.0
Hdh	3.3	4.2	5.5	6.6	6.9	6.6	6.1	5.6	5.4	4.5	3.4	3.0
Rif	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Te	10.7	11.2	12.9	15.5	19.1	23.5	26.5	26.5	24.1	19.9	15.9	12.3
Pv	901.0	1003.0	1056.0	1182.0	1536.0	1884.0	2015.0	2307.0	1968.0	1572.0	1274.0	1023.0
DTge	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	10.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tbse	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.5	33.5	33.5	0.0	0.0	0.0	0.0
URe	70.0	70.0	70.0	60.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	60.0	60.0	70.0

Figura 134: Esempio di dati climatici per Catania

AGRIGENTO
ALESSANDRIA
ANCONA
AOSTA
ASCOLI PICENO
L'AQUILA
AREZZO
ASTI
AVELLINO
BARI
BERGAMO
BELLUNO
BENEVENTO
BOLOGNA
BRINDISI
BRESCIA
BOLZANO
CAGLIARI
CAMPOBASSO
CASERTA
CHIETI
CALTANISSETTA
CUNEO
COMO
CREMONA
COSENZA
CATANIA
CATANZARO
ENNA
FERRARA
FOGGIA
FIRENZE
FORLI
FROSINONE
GENOVA
GORIZIA
GROSSETO
IMPERIA
ISERNIA
CROTONE
LECCO
LODI
LECCE
LIVORNO
LATINA
LUCCA
MACERATA
MESSINA
MILANO
MANTOVA
MODENA
MASSA CARRARA
MATERA
NAPOLI
NOVARA
NUORO
ORISTANO
PALERMO
PIACENZA
PADOVA
PESCARA
PERUGIA

Figura 135: Selezione della località per i dati climatici

Fra i dati di progetto vi sono anche i dati climatici del sito, cioè la conoscenza della zona climatica e dei parametri necessari al calcolo dei carichi termici. Spesso i programmi di calcolo hanno in libreria i dati necessari, vedi figura, in altri casi occorre riferirsi ai dati CNR e/o a quanto indicato dall'UNI.

10.4 CALCOLO DEI CARICHI TERMICI

Ciò che gli impianti tecnici fanno si può riassumere in una fornitura (con il proprio segno, considerando l'edificio un sistema termodinamico) di energia agli ambienti.

Ad esempio, nelle condizioni invernali si hanno basse temperature all'esterno e temperature interne elevate (solitamente fissata ai valori di progetto sopra indicati, valore tipico 20°C) e pertanto del calore passa, di norma, dall'interno dell'edificio verso l'esterno.

Per un sistema energetico aperto (quale si può schematizzare un edificio) questo flusso di calore uscente porta ad un raffreddamento interno che tende a livellare la temperatura interna con quella esterna.

L'impianto di riscaldamento fornisce all'edificio una quantità di calore tale da bilanciare quella uscente. In queste condizioni si raggiungono le condizioni di stazionarietà e la temperatura interna dell'edificio si stabilizza al valore desiderato (ad esempio 20 °C).

Allo stesso modo in estate si ha un flusso di calore dall'esterno (ove si suppone che vi sia una temperatura maggiore di quella interna, ad esempio 32 °C) verso l'interno (dove si suppone o si desidera una temperatura interna di 26 °C).

Progetto: _____												
Corso Legge 10/91 - Esercitazione												
Calcolo convenzionale del fabbisogno termico ed energetico con verifica del sistema edificio-impianto secondo le procedure Legge 10/91 e Norme UNI. Palazzina di civile abitazione (6 unità immobiliari)												
DATI di PROGETTO												
Altitudine										[m]	34	
Latitudine											44°13'	
Longitudine											12°02'	
Temperatura esterna										Te	[°C]	-5
Località di riferimento per temperatura esterna											FORLÌ	
Gradi giorno										[°C·24h]	2087	
Località di riferimento per gradi giorno											FORLÌ	
Zona climatica											D	
Velocità del vento media giornaliera [media annuale]										[m/s]	2.3	
Direzione prevalente del vento											NW	
Località di riferimento del vento												
Zona vento											1	
Località rif. irradiazione											;	
Irradiazione globale su superficie verticale (MJ/m²)												
mese	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	ESE WSW	SE SW	SSE SSW	S	oriz	Te	
novembre	1.9	1.9	2.2	3.1	4.3	5.7	7.0	8.2	8.7	5.5	9.3	
dicembre	1.5	1.5	1.6	2.2	3.3	4.5	5.8	7.0	7.5	4.1	4.4	
gennaio	1.7	1.7	1.9	2.7	3.8	5.1	6.4	7.7	8.2	4.8	3.0	
febbraio	2.6	2.6	3.2	4.5	6.0	7.6	8.9	10.0	10.6	7.9	4.6	
marzo	3.8	4.2	5.6	7.4	9.2	10.6	11.5	11.9	12.1	12.6	9.0	
aprile	5.5	6.7	8.7	10.7	12.2	12.9	12.8	12.1	11.4	17.7	13.7	
Inizio riscaldamento												01-11
Fine riscaldamento												15-04
Durata periodo di riscaldamento										p	[giorno]	166
Ore giornaliere di riscaldamento											[ore]	12
Situazione esterna :										in complesso urbano		
Temperatura aria ambiente										Ta	[°C]	20.0
Umidità interna										Ui	[%]	50.0
Classe di permeabilità all'aria dei serramenti esterni: (si veda singola struttura finestrata)												

Figura 136: Dati climatici di progetto.

Se non si interviene con un impianto di climatizzazione le condizioni termoigrometriche interne variano in modo tale da portare la temperatura interna a coincidere con la temperatura esterna. L'impianto in questo caso sottrae calore (ed agisce anche sull'umidità) all'ambiente in quantità pari a quello trasmesso dall'esterno.

Questi due semplici esempi ci mostrano l'importanza di calcolare con precisione i flussi termici entranti o uscenti dal sistema edificio: questa fase viene detta *Calcolo dei carichi termici*.

Si tratta, quindi, di una fase importante e fondamentale per la progettazione degli impianti tecnici, come si vedrà nei capitoli successivi di questo volume.

Va comunque osservato che spesso il calcolo dei carichi termici, che pure dovrebbe essere univocamente matematicamente determinato, viene effettuato in modo fittizio, come avviene, ad esempio, per il calcolo dei carichi termici invernali a o anche (sotto certi aspetti) dei carichi estivi con metodi semplificati.

Si è già visto per il riscaldamento ambientale perché si segue (e spesso si *deve* obbligatoriamente seguire) un iter di calcolo schematico e fittizio. Va ancora osservato che il carico termico ambientale e totale dell'edificio è un dato fondamentale di progetto poiché da esso dipende la fase di selezione e progetto dei componenti di impianto e del progetto delle reti di distribuzione dei fluidi.

Tuttavia è solo una fase dell'iter progettuale, secondo lo schema di flusso sopra indicato. Alla fine di questa fase di calcolo si ottiene un quadro completo dei carichi di ciascun ambiente, di ciascuna zona, di ciascun piano e di tutto l'edificio. Questi sono i carichi da soddisfare con l'impianto, ossia occorre fornire a ciascun ambiente la potenza perduta o ricevuta (in estate) mediante una serie di componenti coordinati (terminali finali) collegati fra loro da una rete di distribuzione, secondo la sequenza:

Sezione di produzione dell'energia ⇒ **Sezione di trasporto dell'energia** ⇒ **Sezione di scambio**

Di ciascuna sezione si parlerà nel prosieguo.

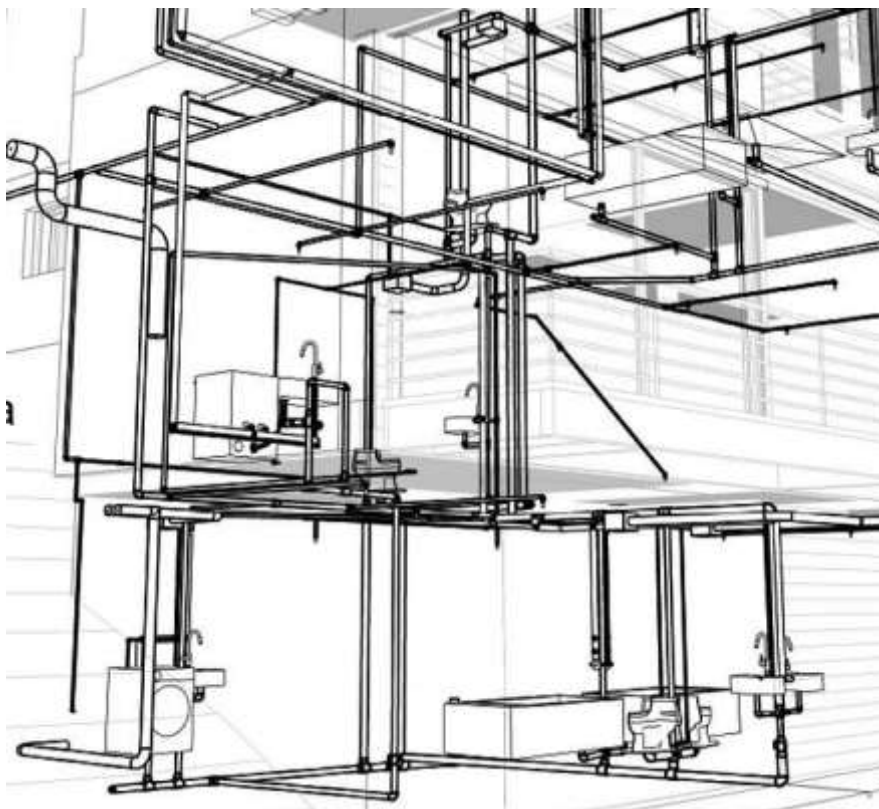


Tabella 43: Impianti all'interno di un edificio

10.5 SCELTA DELLA TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

Se il calcolo dei carichi termici (*fittizi o reali*) viene effettuato con metodi matematici e spesso con l'ausilio di programmi di calcolo appositamente predisposti, la *scelta della tipologia impiantistica* è la fase più delicata ed impegnativa di tutto l'iter progettuale.

E' proprio in questa fase che il *Progettista* deve decidere come realizzare l'impianto. Qualche esempio può chiarire quanto si vuole evidenziare. Un impianto di riscaldamento (*probabilmente la tipologia impiantistica più diffusa*) si può realizzare in più modi, ad esempio:

- con radiatori;
- con termoconvettori;
- ad aria calda (con distribuzione dell'aria mediante canali e bocchette di mandata);
- a pavimento (pavimento radiante).
- La distribuzione dell'acqua calda può essere effettuata in diversi modi, ad esempio:
 - a collettori complanari;
 - con distribuzione monotubo.

Progetto:

Corso Legge 10/91 - Esercitazione
Calcolo convenzionale del fabbisogno termico ed energetico con verifica del sistema edificio-impianto secondo le procedure Legge 10/91 e Norme UNI. Palazzina di civile abitazione (6 unità immobiliari)

CALCOLO DISPERSIONI DI CALORE PER SINGOLO AMBIENTE

AMBIENTE : 010101 Soggiorno

Te = - 5 Ta = 20	q	ric	largh	lungh	altez	volume	dispvol
	1	0.5	6.25	5.00	3.30	103.1	316

nr	Co-str	q	es	U	dt	lungh	al/la	A	A·U·dt	a.es	dispra
01	100 P.E	1	SW	0.50	25	6.25	3.30	13.58	168.45	1.05	177
02	204 S.E	4	SW	2.68	25	0.80	2.20	7.04	472.38	1.05	496
03	702 PTE	4	SW	0.14	25	6.00	1.00	0.00	84.00	1.05	88
04	301 P.I	1		2.05	0	11.00	3.30	36.30	0.00	1.00	0
05	303 P.I	1	U1	0.71	10	5.00	3.30	14.52	107.33	1.00	107
06	400 S.I	1	U1	1.34	10	0.90	2.20	1.98	27.62	1.00	28
07	510 PAV	1	T1	0.59	11	5.00	6.25	31.25	204.30	1.00	204
08	602 SOF	1	ZC	0.76	5	5.00	6.25	31.25	118.75	1.00	119
TOTALI: dispvol + (dispra·au%) =							A	volume	S/V		
		316		1100	15%	1700	68.38	103.1	0.66		

AMBIENTE : 010102 Bagno di servizio

Te = - 5 Ta = 20	q	ric	largh	lungh	altez	volume	dispvol
	1	2.0	1.20	2.70	3.30	10.7	131

nr	Co-str	q	es	U	dt	lungh	al/la	A	A·U·dt	a.es	dispra
01	301 P.I	1		2.05	0	6.20	3.30	20.46	0.00	1.00	0
02	303 P.I	1	U1	0.71	10	1.20	3.30	3.96	29.27	1.00	29
03	510 PAV	1	T1	0.59	5	2.70	1.20	3.24	9.71	1.00	10
04	602 SOF	1	ZC	0.76	5	2.70	1.20	3.24	12.31	1.00	12
TOTALI: dispvol + (dispra·au%) =							A	volume	S/V		
		131		39	0%	182	7.20	10.7	0.67		

AMBIENTE : 010103 Camera

Te = - 5 Ta = 20	q	ric	largh	lungh	altez	volume	dispvol
	1	0.5	4.10	4.20	3.30	56.8	174
	1	0.5	0.30	3.10	3.30	3.1	9

nr	Co-str	q	es	U	dt	lungh	al/la	A	A·U·dt	a.es	dispra
01	100 P.E	1	NE	0.50	25	5.40	3.30	14.30	177.32	1.20	213
02	204 S.E	2	NE	2.68	25	0.80	2.20	3.52	236.19	1.20	283
03	702 PTE	2	NE	0.14	25	5.40	1.00	0.00	37.80	1.20	45
04	301 P.I	1		2.05	0	8.00	3.30	26.40	0.00	1.00	0
05	303 P.I	1	U1	0.71	10	1.70	3.30	5.61	41.47	1.00	41
06	304 P.I	1	ZC	0.65	5	4.00	3.30	13.20	42.70	1.00	43
07	510 PAV	1	T1	0.59	13	18.15	1.00	18.15	142.52	1.00	143
08	602 SOF	1	ZC	0.76	5	18.15	1.00	18.15	68.97	1.00	69
TOTALI: dispvol + (dispra·au%) =							A	volume	S/V		
		183		726	15%	1130	41.58	59.9	0.69		

Figura 137: Esempio di riepilogo dei carichi dei singoli ambienti

RIEPILOGO		DISPERSIONI					
GLOBALE EDIFICIO		1140.8	1967.6	0.580	0.501	0.563	33630
Appart/zona/ambiente		A	volume	S/V	Cdr	Cdl	dispers
Piano/Scala: 01 P.no Terra							11707
0101 App. Zona Termica A		222.4	320.1	0.695			5766
01	Soggiorno	68.38	103.13	0.663			1700
02	Bagno di servizio	7.20	10.69	0.673			182
03	Camera	41.58	59.89	0.694			1130
04	Camera matrimoniale	45.52	58.82	0.774			1054
05	Bagno padronale	16.20	28.96	0.559			725
06	Cucina	39.74	46.20	0.860			1321
07	Disimpegno	3.75	12.38	0.303			66
0102 App. Zona Termica B		227.6	337.4	0.675			5941
01	Soggiorno	68.38	103.13	0.663			1746
02	Bagno di servizio	7.20	10.69	0.673			206
03	Camera	46.83	77.22	0.606			1249
04	Camera matrimoniale	45.52	58.82	0.774			1033
05	Bagno padronale	16.20	28.96	0.559			741
06	Cucina	39.74	46.20	0.860			1311
07	Disimpegno	3.75	12.38	0.303			86
Piano/Scala: 02 P.no Primo							10005
0201 App. Zona Termica C		125.4	337.4	0.372			4983
01	Soggiorno	37.12	103.13	0.360			1565
02	Bagno di servizio	3.96	10.69	0.370			186
03	Camera	23.43	77.22	0.303			1114
04	Camera matrimoniale	27.72	58.82	0.471			922
05	Bagno padronale	7.42	28.96	0.256			678
06	Cucina	25.74	46.20	0.557			1211
07	Disimpegno	0.00	12.38	0.000			64
0202 App. Zona Termica D		125.4	337.4	0.372			5022
01	Soggiorno	37.12	103.13	0.360			1565
02	Bagno di servizio	3.96	10.69	0.370			186
03	Camera	23.43	77.22	0.303			1114
04	Camera matrimoniale	27.72	58.82	0.471			930
05	Bagno padronale	7.42	28.96	0.256			690
06	Cucina	25.74	46.20	0.557			1230
07	Disimpegno	0.00	12.38	0.000			64

Figura 138: Esempio di riepilogo dei carichi termici di un edificio

La scelta delle caldaie è quanto mai varia (come si vedrà nel prosieguo) e lo stesso si deve dire per i componenti di impianto.

Le cose si complicano ulteriormente per gli impianti di climatizzazione estivi per i quali si hanno almeno tre tipologie:

- *ad aria;*
- *ad acqua;*
- *misti con aria primaria.*

In definitiva questa fase è la più delicata ed impegnativa e fortemente dipendente dall'esperienza del progettista. Inoltre la scelta impiantistica è spesso dipendente (direi anche *fortemente dipendente*) anche dall'architettura dell'edificio.

Si hanno spesso condizionamenti di vario tipo che rendono difficile la progettazione degli impianti e la vita degli impiantisti. Ad esempio spesso non si sa dove inserire gli impianti perché

mancono gli spazi dei locali tecnici o non si hanno cavedi tecnici per il passaggio delle tubazioni e ancor più non si hanno spazi sufficienti per il passaggio dei canali che sono molto più ingombranti delle tubazioni.

Un impianto termotecnico è composto da tre sezioni sinergiche:

Sezione di produzione dell'energia* ⇒ *Sezione di trasporto dell'energia* ⇒ *Sezione di scambio

allora la scelta della tipologia impiantistica deve tenere conto di ciascuna sezione, ad esempio, per un impianto di riscaldamento:

Sistema con caldaia a gas metano, rete di distribuzione ad acqua con collettore complanare e radiatori in alluminio come terminali.

Si osservi che ogni scelta effettuata in questa fase condiziona lo sviluppo delle fasi successive e non sempre è possibile cambiare in corsa le scelte fatte. Si tenga presente, inoltre, che la scelta della tipologia impiantistica non solo dettata da esigenze funzionali ma anche da vincoli economici. Occorre sempre progettare il migliore impianto con il budget disponibile e quindi accettando i compromessi progettuali che certe scelte impongono.

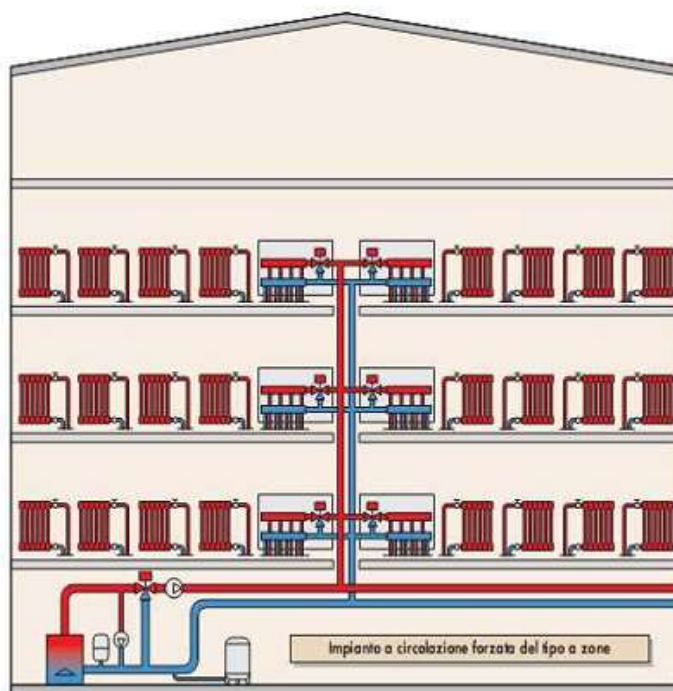


Figura 139: Esempio di impianto di riscaldamento

10.6 SCHEMATIZZAZIONE DELLA SOLUZIONE IMPIANTISTICA

Per procedere al dimensionamento delle reti di distribuzione e alla selezione dei componenti di impianto occorre avere uno schema impiantistico e quindi i disegni delle piante e delle sezioni dell'edificio e segnare, anche in modo schematico, i percorsi delle tubazioni o dei canali a seconda del fluido termovettore selezionato.

Si hanno, solitamente, tre possibilità:

- Che l'impianto utilizzi solo acqua come fluido termovettore;
- Che l'impianto utilizzi solo aria come fluido termovettore;
- Che l'impianto sia misto e che utilizzi entrambi i fluidi termovettori.

Illustriamo brevemente ciascuno dei tre casi.

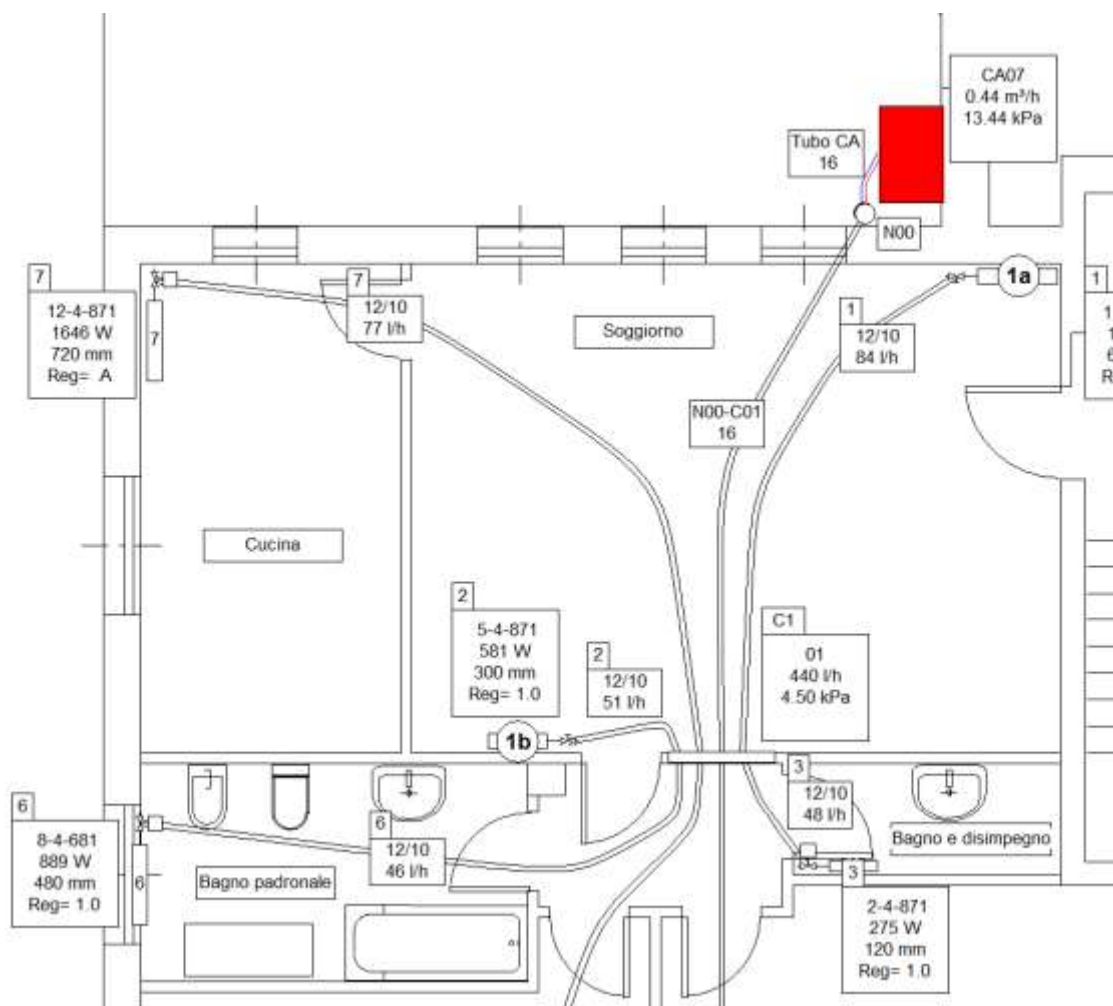


Figura 141: Esempio di disposizione dei corpi scaldanti e delle tubazioni

Nel caso di utilizzo dei fan coil, soprattutto per edifici terziari di grandi dimensioni, non si utilizza la distribuzione con collettori complanari ma ad anello, come si può osservare in Figura 145.

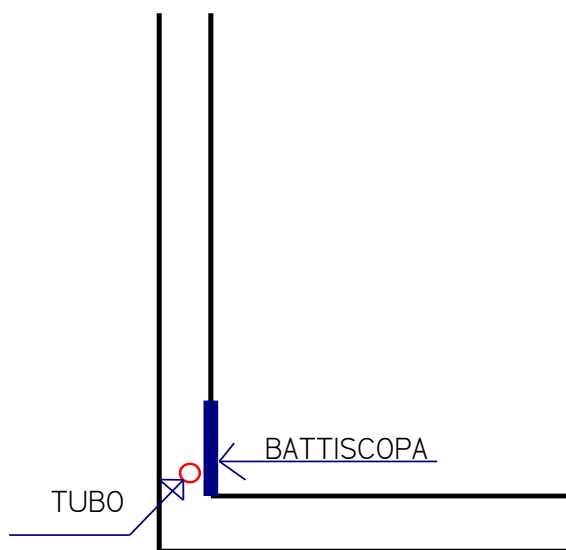


Figura 142: Posizionamento delle tubazione dietro il battiscopa

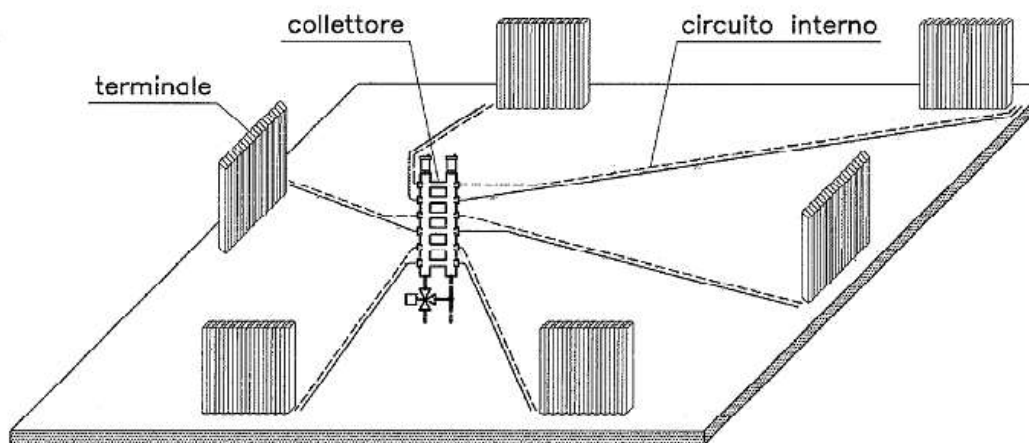


Figura 143: Vista assonometrica di una distribuzione a collettore complanare



Figura 144: Coppia di collettori complanare di mandata e di ritorno

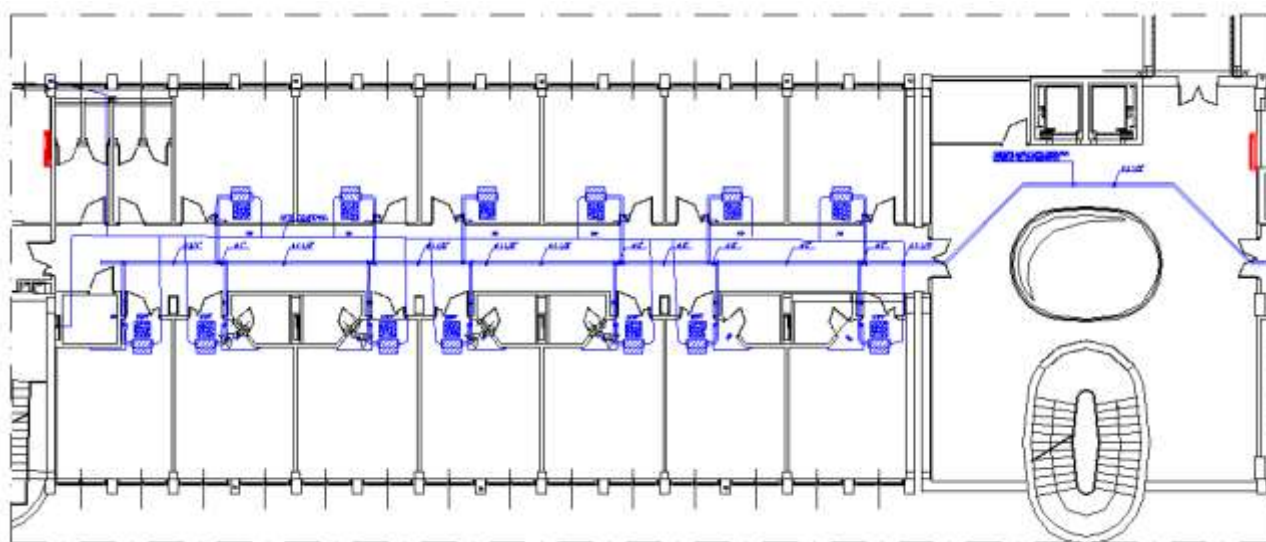


Figura 145: Esempio di rete di distribuzione per fan coil ad anello

Spesso i fan coil sono associati ad impianti misti (aria – acqua) nei quali il ricambio d'aria fisiologico viene assicurato mediante canali (di dimensioni più ridotte rispetto a quelli a tutt'aria, come si dirà nel Volume 2°), vedi Figura 158, e pertanto si hanno entrambe le problematiche viste per le tubazioni e per i canali dell'aria.

10.6.2 CENTRALE TERMICA

La centrale termica ospita solitamente i componenti attivi dell'impianto e cioè i generatori di calore e, se presenti, i refrigeratori d'acqua unitamente ai vasi di espansione, alle pompe di circolazione e agli organi di sicurezza.

La localizzazione della centrale termica deve essere fatta con cura perché deve soddisfare alla normativa di sicurezza dei Vigili del Fuoco e pertanto, ad esempio, deve sempre avere un'uscita a cielo aperto accessibile esternamente. In figura si riportano le possibili localizzazioni delle centrali termiche.

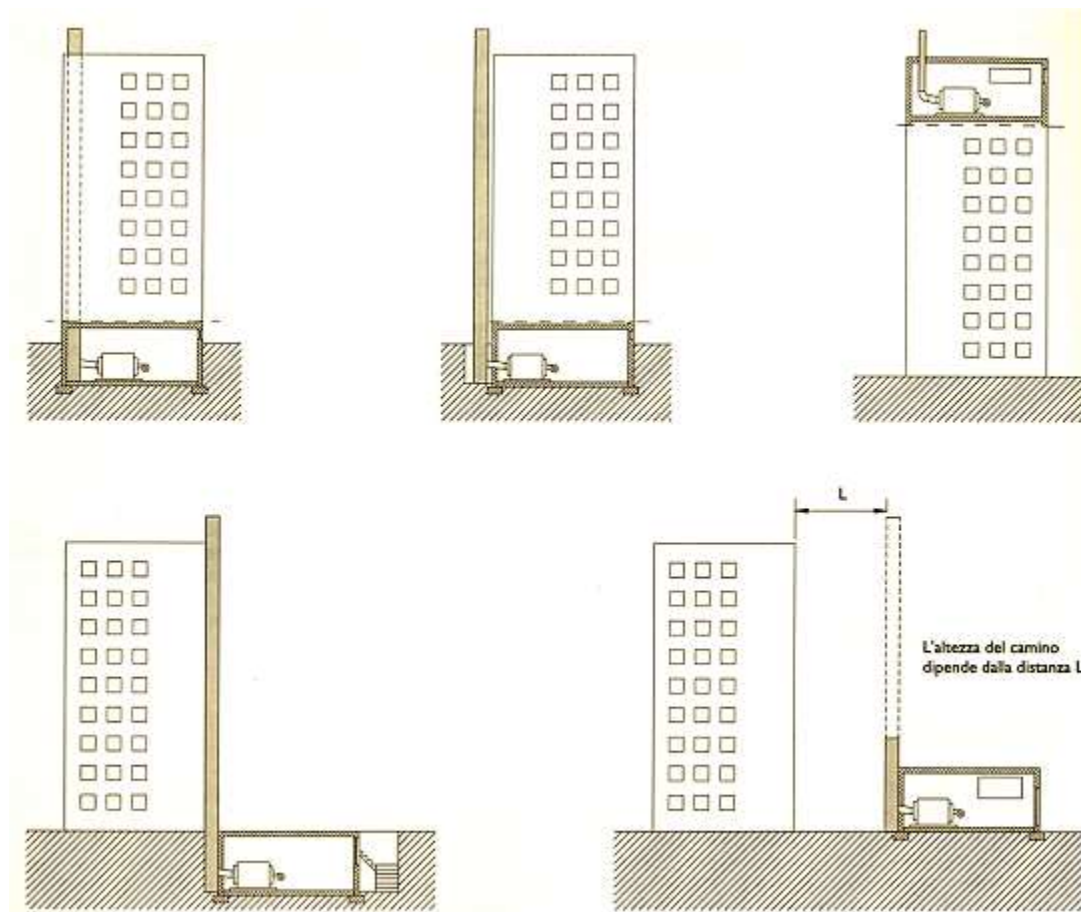


Tabella 44: Localizzazione delle centrali termiche

10.6.3 CANNE FUMARIE

Le canne fumarie debbono consentire il corretto smaltimento in atmosfera dei prodotti di combustione. Esse possono essere singole o multiple ed avere un'altezza almeno 1 metro superiore a quella degli edifici vicini.

10.6.4 IMPIANTI CHE UTILIZZANO ARIA

Nel caso si utilizzi come fluido termovettore l'aria allora si ha un impianto di termoventilazione. In questo caso occorre posizionare i terminali (in questo caso bocchette di mandata o diffusori a soffitto) e poi i canali, inizialmente come schema unifilare in quanto le dimensioni dei singoli tronchi non sono a priori note.

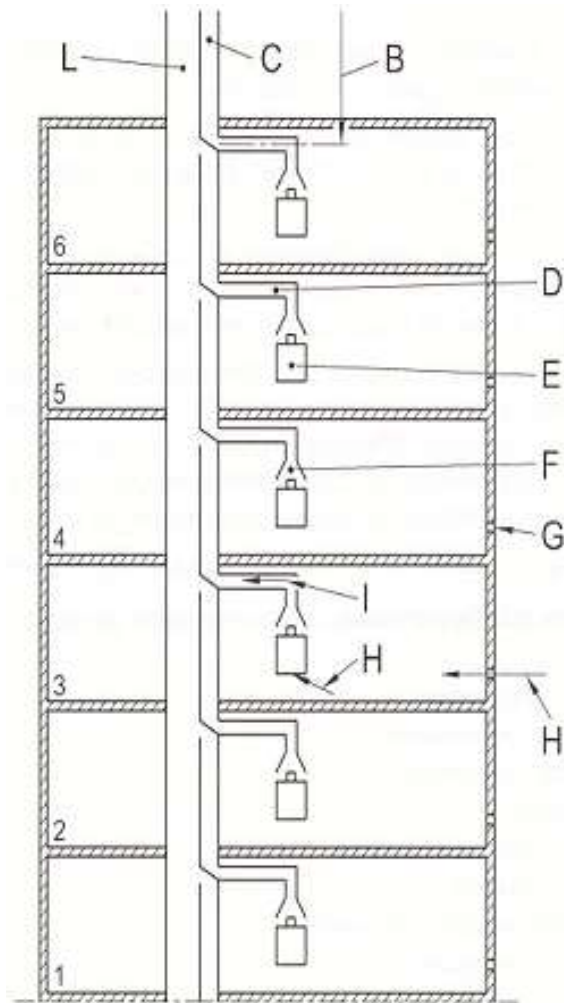


Figura 146: Esempio di canna fumaria multipla

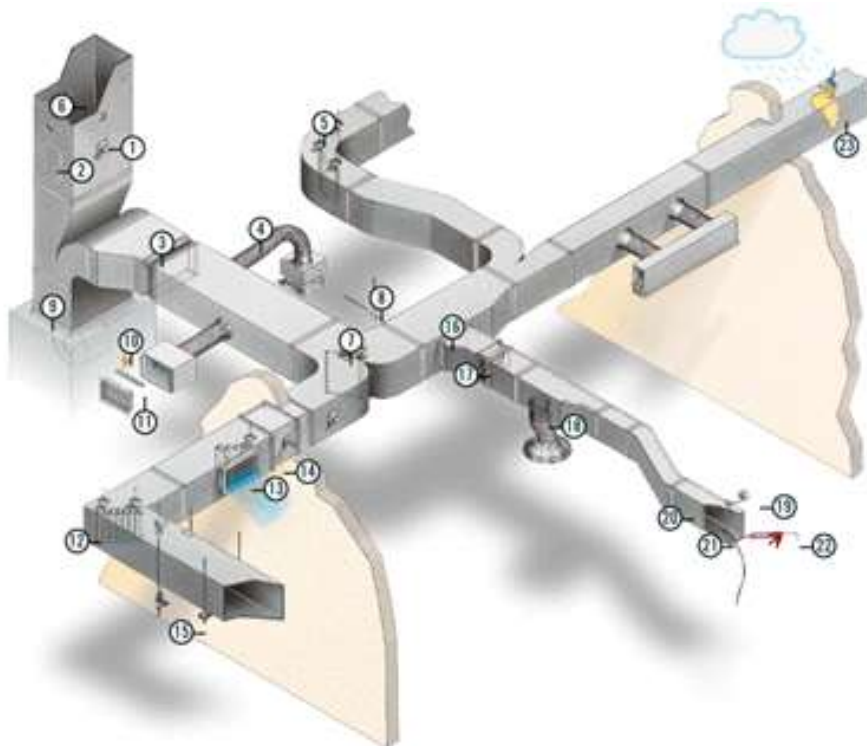


Figura 147: Schematizzazione di una rete di canali d'aria

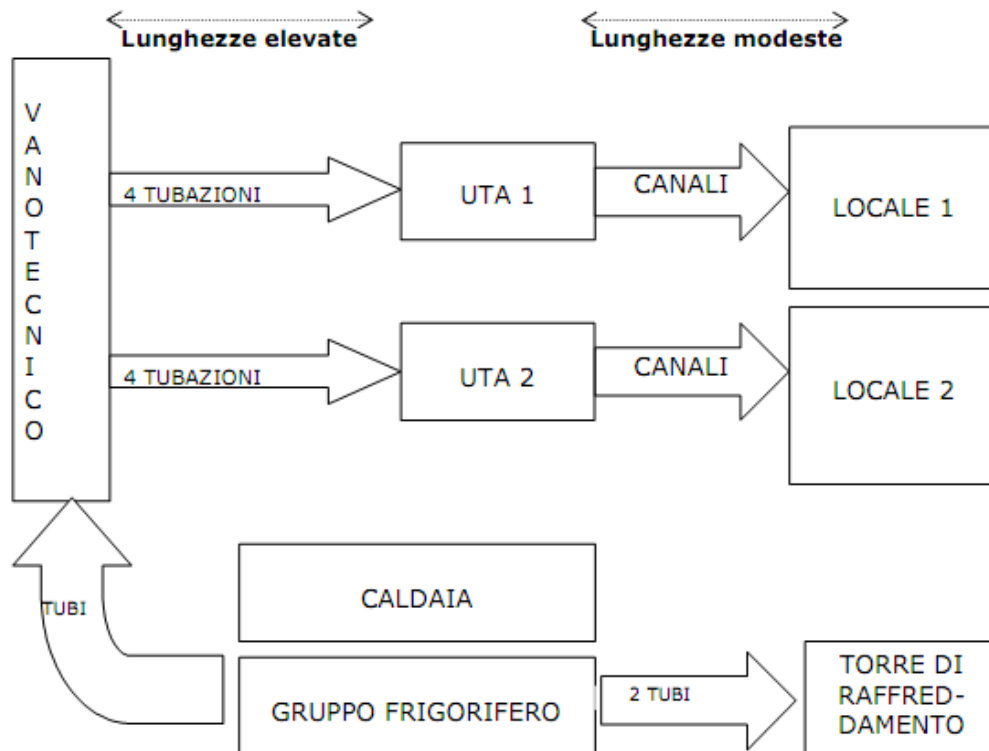


Figura 148: Schema funzionale di un impianto ad aria

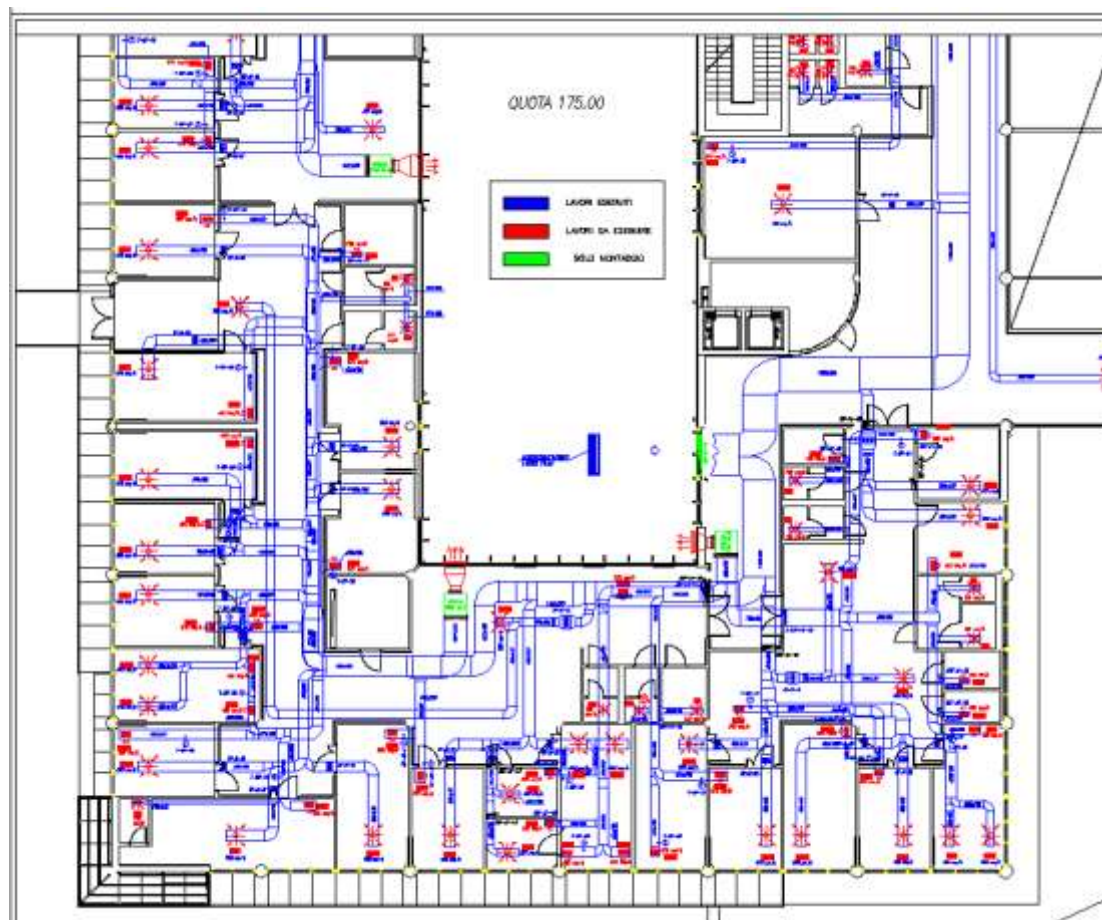


Figura 149: Esempio di posizione di terminali (bocchette di mandata) e di canali d'aria

Per i canali d'aria si hanno quasi sempre problemi geometrici dovuti allo scarso spazio disponibile. In genere è opportuno cercare in questa fase di eliminare conflittualità varie (ad esempio incroci di canali) che possono condizionare la fase successiva. In Figura 151 si ha un esempio di ingombro dei canali d'aria posti in corridoio. Altri problemi si hanno se i canali debbono scavalcare le travi a spessore, come indicato in Figura 152: in pratica l'ingombro in sezione aumenta e ciò porta spesso ad avere problemi con il controsoffitto. Spesso la dimensione verticale del canale viene ridotta, vedi Figura 153, in modo da potere nascondere l'impianto al di sopra del controsoffitto che lascia sempre spazi limitati.

Le cose si complicano ulteriormente se oltre al canale di mandata occorre posizionare anche il canale di ripresa dell'aria degli ambienti. In questo caso i problemi di spazio (sia in larghezza che in altezza) possono spesso essere complessi e/o non risolvibili.

Occorre qui osservare che se ben progettato l'edificio dovrebbe ben contenere tutti gli impianti che deve ospitare.

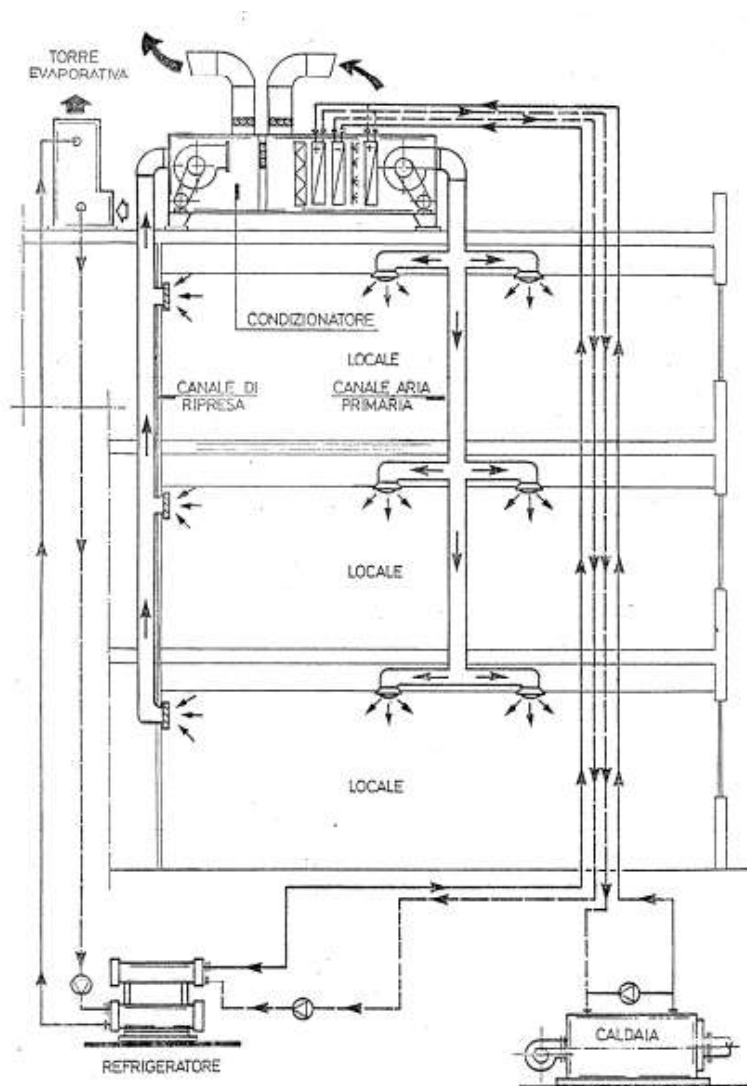


Figura 150: Schematizzazione del funzionamento degli impianti ad aria

Tuttavia ancora troppo spesso l'impiantista deve operare su disegni già fatti ed approvati e con spazi e volumi tecnici non previsti. In questi casi l'ignoranza progettuale è evidente perché i canali d'aria corrono esternamente interagendo negativamente con i prospetti dell'edificio danneggiandoli. Una tale soluzione non è giustificabile per edifici nuovi ed è appena tollerabile per edifici esistenti dove gli spazi necessari proprio non esistono.

In generale gli impianti da inserire in edifici esistenti (e ancora di più se storici) devono fare i conti con murature portanti spesse da 50 a 100 cm, tetti a volte intoccabili, distribuzione degli ambienti in serie e possibilmente senza corridoi, ... Il retrofitting degli edifici esistenti è certamente fra i problemi più complessi che possono trovare soluzione, spesso, nella scelta di tecnologie innovative quali il riscaldamento radiativo, l'utilizzo di sistemi VRV, l'uso di canali flottanti, ... In ogni caso è fondamentale, per la buona progettazione impiantistica, collaborare con i progettisti architettonici fin dall'inizio della progettazione dell'edificio, ponendo sul tavolo tutte le problematiche dimensionali, topologiche e funzionali che l'impiantistica meccanica pone.

In special modo è necessario prevedere spazi di passaggio (cavedi) per i canali d'aria che attraversano i vari piani. In caso contrario si troveranno tali spazi cannibalizzando ambienti e/o gabbie ascensori. E' chiaro comunque che non esistono regole certe per il posizionamento degli impianti ma occorre una buona dose di esperienza e di buon senso.

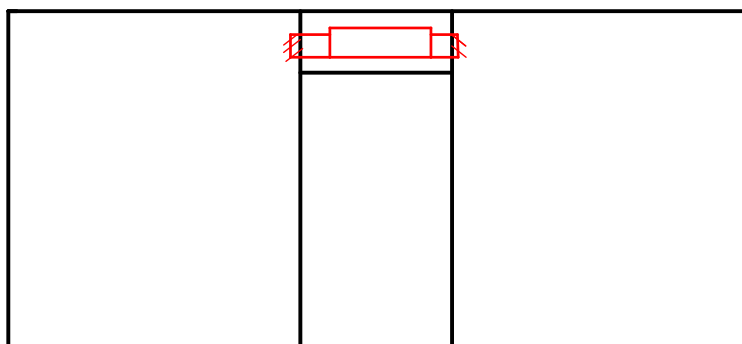


Figura 151: Esempio di sezione di passaggio dei canali in un corridoio

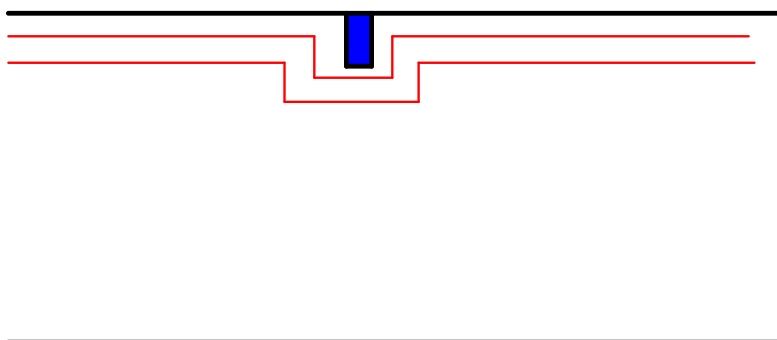


Figura 152: Esempio di deviazione di un canale per la presenza di una trave a spessore

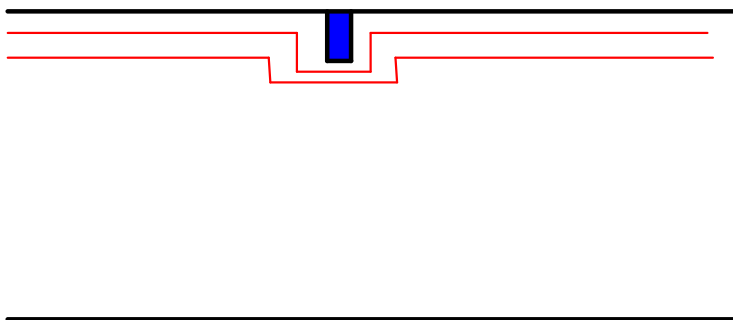


Figura 153: Restringimento dei canali per lo scavalco di travi a taglio

Inizialmente si traccia uno schema unifilare del tipo riportato in Figura 154. Successivamente questa rete, effettuato il dimensionamento come descritto nel Volume 3°, avrà dimensioni in pianta

ben esplicitate e quindi nel predisporre i disegni esecutivi finali si potranno risolvere i problemi di ingombro e di passaggio dei canali.

Si osservi che una rete di canali è distinta in base alla tipologia di impiego. In particolare si hanno le seguenti tipologie.

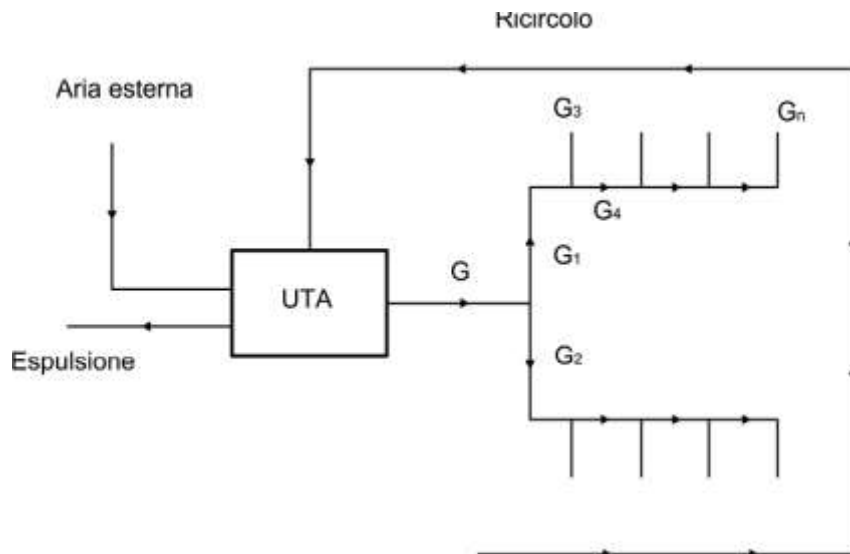


Figura 154: Schema unifilare di una rete di distribuzione dell'aria

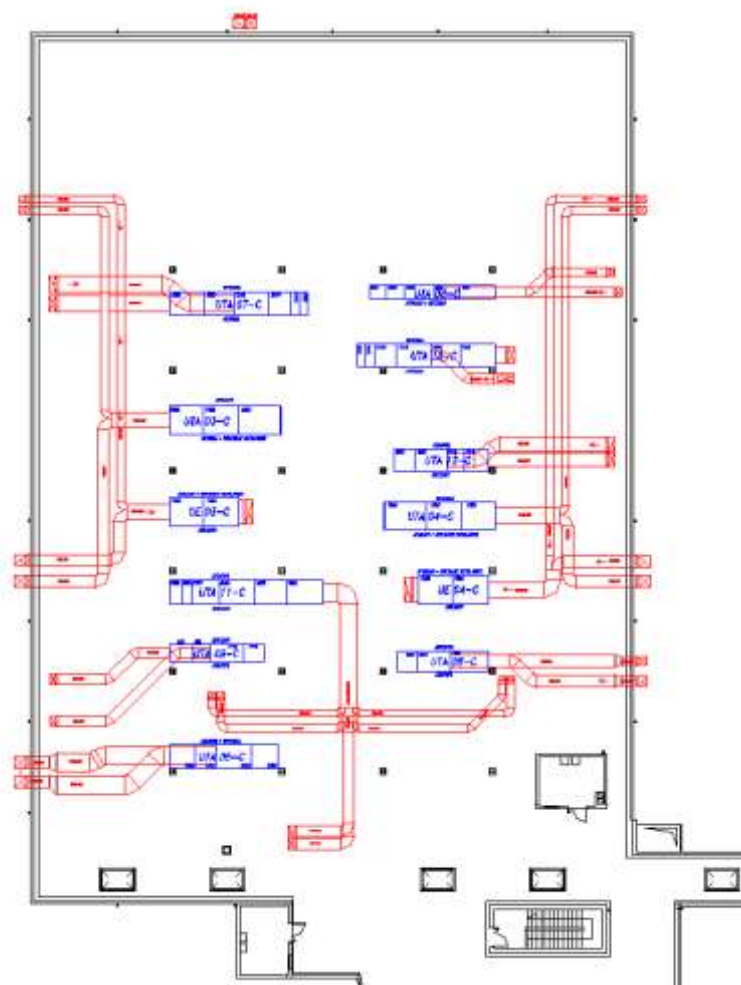


Figura 155: esempio di posizionamento in copertura delle UTA con canali che discendono esternamente

Canali di mandata

Questi canali trasportano l'aria opportunamente trattata nell'UTA verso i terminali di distribuzione degli ambienti. Si osservi che i canali di mandata sono sempre in sovrappressione mentre i canali di ripresa sono in depressione.

Canali di ripresa

Sono i canali che riprendono l'aria dagli ambienti per portarla verso i ventilatori di espulsione o verso le UTA nel caso di impianti a ricircolo (vedi Volume 2°).

Canali di espulsione

Sono i canali che raccordano i ventilatori di espulsione verso l'ambiente esterno.

Tenuta dei canali per l'aria

Per quanto si operi correttamente i canali per l'aria presentano sempre fughe di aria verso l'esterno che possono raggiungere percentuali elevate (20-30%). Si tratta di fughe dalle giunzioni fra tronchi per problemi nelle guarnizioni di tenuta o per difetti di saldature.

Le norme SMACNA fissano le percentuali massime di fughe d'aria a seconda della tipologia applicativa.

Si intuisce, ad esempio, che i canali per un ospedale debbono essere realizzati ad elevata tenuta, sia quelli in sovra che in depressione, per evitare possibili rischi di contagio.

Classificazione dei canali

I canali vengono classificati in base alla velocità dell'aria che trasportano secondo la seguente tabella.

CONDOTTE DI MANDATA		
Impianti commerciali e residenziali	a) a bassa velocità	fino a 10 m/s (normalmente compresa tra 5 e 8) oltre 10 m/s
	b) ad alta velocità	
Impianti industriali	a) a bassa velocità	fino a 12 m/s (normalmente compresa tra 7 e 12) oltre 12 m/s
	b) ad alta velocità	
CONDOTTE DI RIPRESA		
Impianti commerciali e residenziali	a) a bassa velocità	fino a 9 m/s (normalmente compresa tra 4.5 e 7)
	b) ad alta velocità	
Impianti industriali	a) a bassa velocità	fino a 10 m/s (normalmente compresa tra 5 e 9)
	b) ad alta velocità	

Tabella 45: Classificazione dei canali per l'aria

Le velocità massime ammesse nei circuiti, specialmente quelli prossimi agli ambienti abitati, debbono essere tali da evitare i problemi di rumorosità (vedi Volume 3°). Nella tabella seguente si ha un riepilogo dei valori consigliati.

	Residenze Uffici	Teatri Luoghi di riunione	Locali industriali
Bocca premente ventilatore	2.5	8	10
Condotti principali	3.5 - 4.5	5 - 6.5	6 - 12
Condotti secondari	3	4	5
Bocchette di mandata	3 - 5	4 - 7	4 - 7
Bocchette di estrazione	1 - 2	1 - 2	1 - 5
Prese d'aria esterna	2.5	2.5	2.5
Griglie di espulsione	4	4	5

Tabella 46: Velocità massime consigliate, in m/s, per l'aria nei canali

In base alla pressione totale (statica più dinamica) raggiungibile all'interno i canali sono poi classificati in:

- *Bassa pressione, fino a 900 Pa – Classe I;*
- *Media pressione, da 900 a 1700 Pa – Classe II;*
- *Alta pressione, oltre 1700 Pa – Classe III.*

Unità di trattamento aria (UTA)

Gli impianti ad aria sono caratterizzati dal fatto che il riscaldamento (o il raffrescamento) dell'aria, e in genere tutte le trasformazioni psicrometriche che si vedranno nel Vol. 2° per il condizionamento, avvengono in uno speciale dispositivo detto *Unità di Trattamento Aria (UTA)* o anche Centrale di trattamento aria (CTA).

Mediante batterie alettante alimentate da acqua calda, per il riscaldamento, o acqua fredda, per il raffrescamento, l'aria viene portata alla temperatura desiderata (vedi Vol. 2° per maggiori approfondimenti).

Sul dimensionamento degli organi interni dell'UTA si rimanda al Vol. 2°.

L'aria termicamente trattata viene poi inviata nella rete di distribuzione mediante un ventilatore di mandata che crea la prevalenza utile per tale distribuzione. In Figura 157 si ha un esempio di UTA con i collegamenti idronici delle batterie di scambio.

L'UTA può essere di dimensioni variabili in funzione della portata d'aria da smaltire e della velocità di attraversamento imposta. Si possono avere UTA di piccole dimensioni, tali da potere installare questi dispositivi nel soffitto, ovvero di dimensioni ragguardevoli (2-3 m di larghezza per 2-4 m di altezza per 6-14 m di lunghezza).

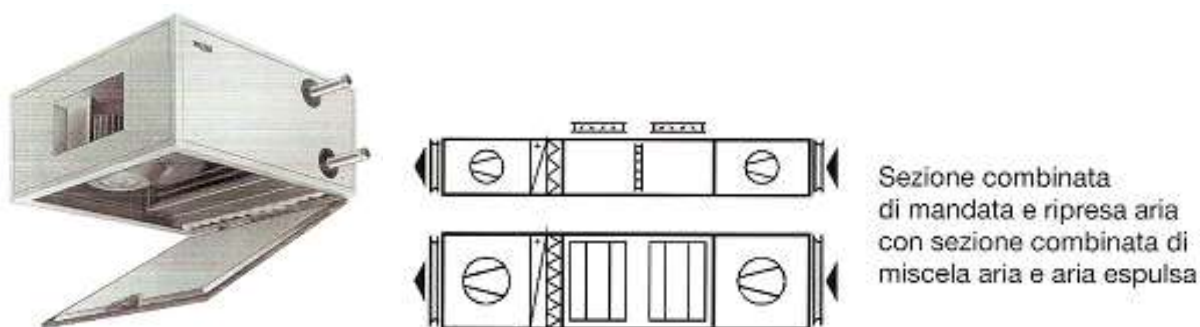


Figura 156: UTA compatta per installazione a soffitto semplice o a sezioni multiple

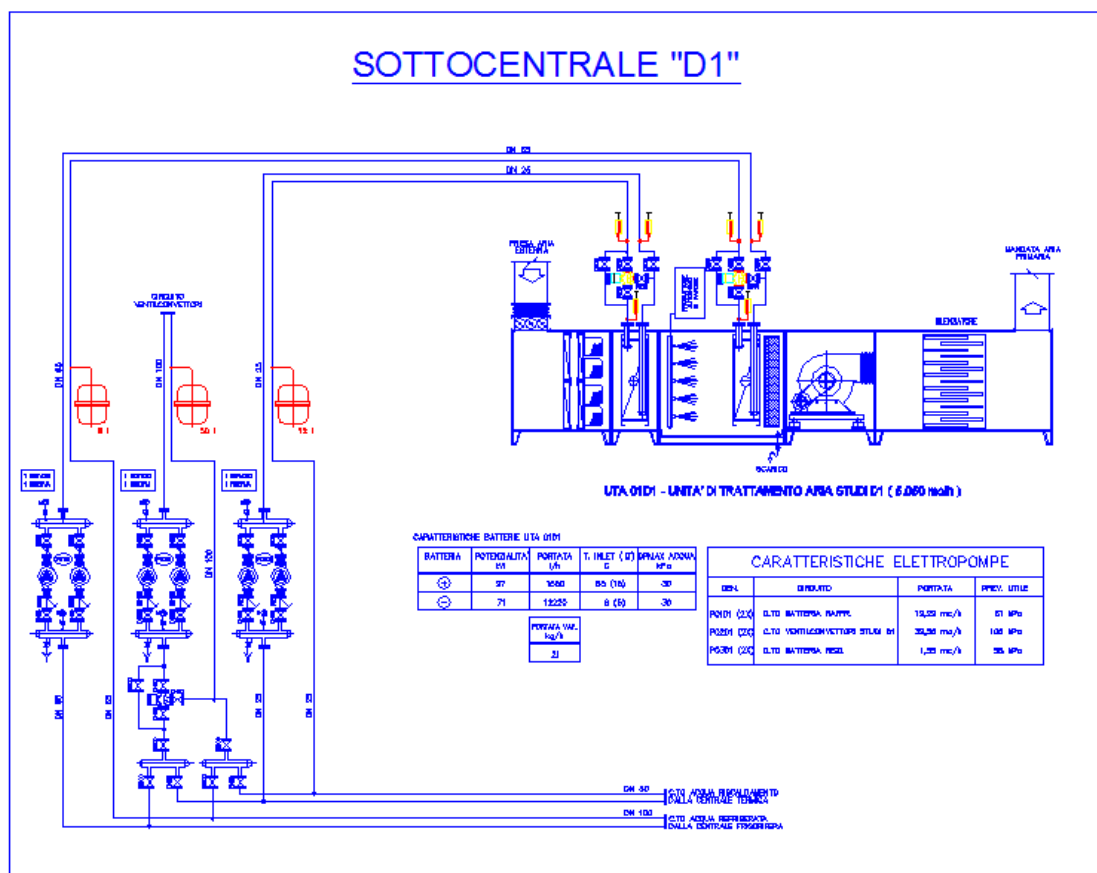


Figura 157: Centrale di trattamento aria

Le UTA vanno comunque installate in ambienti capaci di assicurare i necessari apporti di aria (quindi opportunamente finestrati) oppure, in versione speciale, possono esser poste in copertura. Come indicato nell'esempio di Figura 155. In questo caso occorre prevedere un opportuno e generoso cavedio tecnico per il passaggio dei canali dalla copertura ai piano sottostanti.

Si osserva che i cavedi tecnici per i canali d'aria possono avere dimensioni paragonabili ad un vano scala e quindi è necessario prevederlo in fase di progettazione architettonica. Un tale volume difficilmente può essere ottenuto quando il progetto è completato negli ambienti definiti.

Per gli impianti ad aria è importante posizionare prima di tutto le UTA necessarie e poi schematizzare la rete dei canali d'aria. Si osservi che possono essere installate più UTA nello stesso edificio, ad esempio suddividendo la distribuzione per piani o per zone omogenee (ad esempio, uffici amministrativi da un lato e palestra e servizi dall'altro).

Perdite di pressione all'interno delle UTA

Le UTA possono essere considerate dei canali attrezzati con all'interno delle apparecchiature necessarie per la preparazione dell'aria di immissione. Si hanno essenzialmente filtri, serrande di regolazione, filtri, plenum, batterie di riscaldamento e/o raffreddamento, umidificatori (ad acqua o a vapore), separatori di gocce, ventilatori, silenziatori, ...

Ciascun componente interno produce una caduta di pressione che deve essere tenuta in conto per la selezione dei ventilatori di mandata e/o di ripresa.

Si veda la seguente tabella.

DISCONTINUITA'	CADUTA DI PRESSIONE (Pa)
CAMERA DI MISCELA	20 Pa
FILTRI PIANI	60 Pa
FILTRI AD ANGOLO	40 Pa
FILTRI A RULLO	50 Pa
FILTRI A TASCHE	80 Pa
SEZIONE UMIDIFICANTE	20 Pa
SEPARATORE DI GOCCE	30 Pa
FILTRI ASSOLUTI	500 Pa
BATTERIE DI RISCALDAMENTO	25 Pa per rango
BATTERIE DI RAFFREDDAMENTO	70 Pa (2 ranghi)
	80 Pa (3 ranghi)
	100 Pa (4 ranghi)
	140 Pa (6 ranghi)

Tabella 47: Pertite di carico nei componenti interni delle UTA

10.6.5 IMPIANTI MISTI ARIA – ACQUA

Gli impianti misti sono oggi molto utilizzati perché sono flessibili, relativamente economici e meno invasivi degli impianti ad aria. Con questi impianti si distribuisce aria per il ricambio fisiologico agli ambienti e si completa il loro bilancio termico con i termoventilconvettori (fan coil).

Da un punto di vista impiantistico si ha la doppia necessità di prevedere l'installazione sia della rete ad acqua che la rete ad aria. Ad esempio, per gli ambienti di Figura 145 che raffigura la rete di distribuzione dei fan coil si ha, a completamento, la rete dell'aria riportata in Figura 158.

Va osservato, come si vedrà meglio nel Vol. 2°, che le dimensioni dei canali d'aria (detta anche *aria primaria*) sono solitamente inferiori a quelle corrispondenti ad impianti a tutt'aria perché debbono trasportare solo l'aria di ricambio fisiologico che può essere una frazione piccola (10-40%) di quella corrispondente alla portata termodinamica a tutt'aria (vedi Vol. 2°). Tale riduzione consente una più facile sistemazione dei canali e quindi si hanno minori difficoltà architettoniche da superare. Il dimensionamento degli impianti misti va fatto in modo opportuno per bilanciare i carichi degli ambienti, come verrà illustrato nel Volume 2° al quale si rimanda per questo approfondimento.

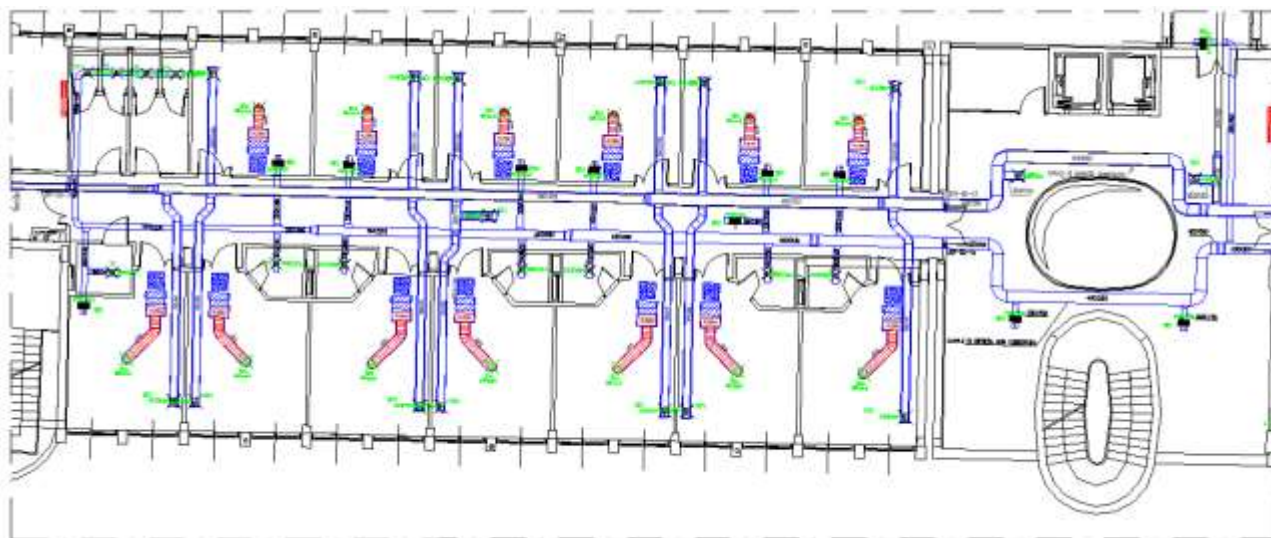


Figura 158: rete di canali per l'aria primaria in aggiunta ai fan coil del caso precedente

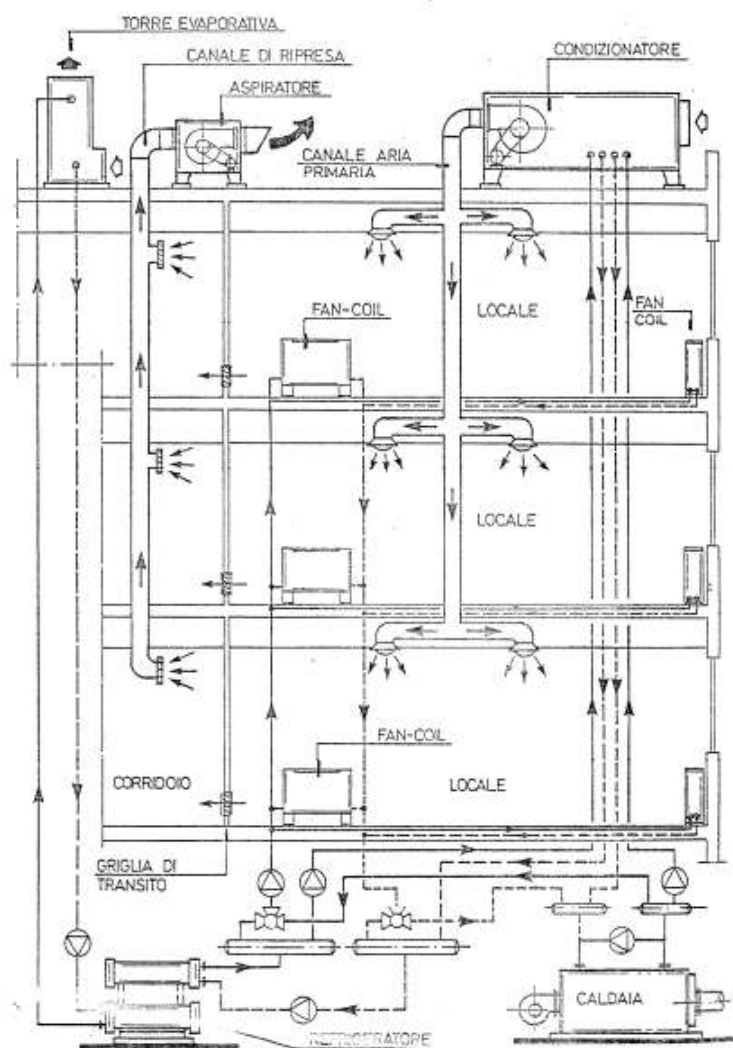


Figura 159: Schematizzazione degli impianti misti acqua – aria

10.7 SELEZIONE DEI COMPONENTI DI IMPIANTO

Dopo aver posizionato i componenti principali di impianto si passa alla fase di selezione dei componenti stessi. Tali componenti non vengono progettati ex novo ma selezionati mediante regole tecniche e l'ausilio dei cataloghi delle case costruttrici. In questa fase si dimensionano i radiatori, i fan coil, le centrali di trattamento aria, le caldaie, i gruppi di refrigerazione o le pompe di calore, le pompe di circolazione, i ventilatori, gli organi di controllo ... La selezione dei componenti va effettuata tenendo presente la produzione industriale disponibile per ciascuno di essi. Nel prosieguo si vedrà in dettaglio questa fase. Si fa presente che in questa fase occorre interagire con le produzioni industriali dei vari componenti, nel senso che questi ultimi non sono progettati costruttivamente ma selezionati da una serie di prodotti industriali commercialmente disponibili. Tranne pochi casi particolari (ad esempio le Unità di Trattamento Aria, di cui parlerà nel prosieguo nel Vol. 2°) i componenti sono già disponibili su cataloghi commerciali e, in genere, non possono essere modificati. La selezione commerciale dei componenti di impianto difficilmente porta ad avere caratteristiche reali di questi ultimi coincidenti con le caratteristiche teoriche calcolate in precedenza. Di solito si hanno prestazioni diverse ed in genere superiori a quelle richieste. Così, ad esempio, se un ambiente ha bisogno di 857 W di potenza per il riscaldamento invernale si troverà un radiatore che potrà fornire 920 W o un termoconvettore che fornisce una potenza di 1100 W.

Queste discrepanze progettuali comportano l'assoluta necessità di un sistema di controllo e regolazione dell'impianto in tutte le componenti.

10.7.1 ESECUTIVI DI PROGETTO

Quando si predispone il progetto esecutivo di un'opera si cerca di predisporlo in modo il più possibile realistico.

MODELLO				01	02	03
Impianto a 2 tubi						
RAFFREDDAMENTO Temp. acqua ingresso: 7°C Temp. acqua uscita: 12°C Temp. aria ingresso: 27°C d.b. - 19°C u.b.	Potenza frigorifera totale	W	max	2.040	2.460	4.420
		W	med	1.730	2.000	4.200
		W	min	1.450	1.670	3.710
	Potenza frigorifera sensibile	W	max	1.700	1.990	3.440
		W	med	1.450	1.700	3.320
		W	min	1.200	1.550	2.890
	Portata acqua	l/h	max	351	423	760
RISCALDAMENTO Temp. aria: 20°C Temp. ingresso acqua: 50°C	Potenza termica	W	max	2.590	3.320	5.640
		W	med	2.220	2.420	5.240
		W	min	1.810	2.210	4.510
	Portata acqua	l/h	max	351	423	760
	Perdite di carico lato acqua	kPa	max	16,7	17	59,8
RISCALDAMENTO Temp. aria: 20°C Temp. ingresso acqua: 70/80°C	Potenza termica	W	max	4.500	5.606	9.418
		W	med	3.924	5.249	8.792
		W	min	3.234	4.817	7.654
	Portata acqua	l/h	max	387	482	810
	Perdite di carico lato acqua	kPa	max	16	18	62,6
ULTERIORI DATI	Portata aria	m³/h	max	440	433	860
		m³/h	med	334	385	748
		m³/h	min	288	365	585
	Livello di potenza sonora	dB(A)	max	56	54	61
		dB(A)	med	54	50	57
		dB(A)	min	49	46	50
	Livello di pressione sonora	dB(A)	max	45,4	45,4	52,4
		dB(A)	med	43,4	41,4	48,4
		dB(A)	min	40,4	37,4	41,4
	Potenza elettroventilatore	W	max	30	30	60
	Corrente elettroventilatore	A	max	0,13	0,13	0,26
	Contenuto acqua	L	-	0,58	0,64	1,6
	Peso netto	kg	-	9	9	21
	Attacchi idraulici	Ø	-	1/2"	1/2"	1/2"
	Attacco scarico condensati	Ø mm	-	16,5	16,5	16,5

Figura 160: Caratteristiche generali dei fan coil di un costruttore

Mod.	FCX	17	22	24	32	34	42	44	50	54	62	64	82	84	102
Potenza termica	W (max.)	2490	3400	3950	4975	5850	7400	8600	8620	10100	12920	14300	15140	17100	17020
	W (med.)	2070	2700	3200	4085	4850	6415	6930	7530	8760	10940	11500	13350	14420	15240
	W (min.)	1610	1915	2200	3380	3850	5115	5200	5420	6240	8330	8500	10770	11200	12560
Potenza termica* (acqua ingresso 50°C)	W (E)	1360	2100	2320	3160	3550	4240	5250	4900	6100	6460	7810	7990	10400	9670
Potenza termica (resistenza elettrica)	W	700	950	-	1300	-	1650	-	1950	-	2200	-	2200	-	2200
Portata acqua	l/h	214	292	340	427	503	636	740	741	869	1110	1230	1300	1471	1464
Perdite di carico acqua	kPa	2,8	6,3	4,0	14,2	8,0	14,1	21,0	14,2	22,0	14,8	22,0	19,8	30,0	16,6
Potenza frigorifera totale	W (max.) (E)	1000	1500	1730	2210	2800	3400	4450	4190	4970	4860	6350	7420	8600	7620
	W (med.)	890	1330	1500	2055	2450	2800	3780	3640	4770	4660	5520	5500	7600	7140
	W (min.)	720	1055	1150	1570	2050	2310	2970	2840	3620	3950	4500	4710	6270	6270
Potenza frigorifera sensibile	W (max.) (E)	830	1240	1380	1750	2130	2760	3300	3000	3540	3960	5030	5680	5780	5980
	W (med.)	710	1055	1140	1540	1789	2115	2722	2750	3101	3510	4195	4250	5016	4984
Portata acqua	W (min.)	540	755	828	1100	1441	1635	2079	2040	2281	2825	3330	3450	4013	4263
	l/h	172	258	297	380	482	585	765	721	855	836	1092	1276	1479	1311
Perdite di carico acqua	kPa (E)	2,6	5,8	3,0	16,6	9,0	14,3	19,2	19,3	25,9	11,6	13,0	13,5	22,0	19,2
Portata d'aria	m³/h (max.)	200	290	290	450	450	600	600	720	720	920	920	1140	1140	1300
	m³/h (med.)	160	220	220	350	350	460	460	600	600	720	720	930	930	1120
Numero di ventilatori	m³/h (min.)	110	140	140	260	260	330	330	400	400	520	520	700	700	900
	n.	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Pressione sonora	dB (A) (max.)	36,5	41,5	42,5	39,5	39,5	42,5	46,5	47,5	47,5	48,5	48,5	53,5	52,5	57,5
	dB (A) (med.)	29,5	34,5	37,5	32,5	32,5	35,5	41,5	42,5	44,5	42,5	42,5	48,5	48,5	52,5
	dB (A) (min.)	22,5	22,5	26,5	25,5	27,5	28,5	32,5	33,5	35,5	33,5	35,5	41,5	42,5	47,5
Potenza sonora	dB (A) (max.) (E)	45,0	50,0	51,0	48,0	48,0	51,0	55,0	56,0	56,0	57,0	57,0	62,0	61,0	66,0
	dB (A) (med.) (E)	38,0	43,0	46,0	41,0	41,0	44,0	50,0	51,0	53,0	51,0	51,0	57,0	57,0	61,0
	dB (A) (min.) (E)	31,0	31,0	35,0	34,0	36,0	37,0	41,0	42,0	44,0	42,0	44,0	50,0	51,0	56,0
Contenuto acqua	l	0,58	0,79	1,0	1,11	1,5	1,48	1,9	1,48	1,9	2,52	3,4	2,52	3,4	2,52
Potenza max. motore	(W) (E)	35	25	33	44	44	57	57	67	67	82	91	106	106	131
Corrente max. assorbita	(A)	0,16	0,12	0,23	0,21	0,45	0,28	0,51	0,35	0,36	0,40	0,48	0,49	0,62	0,58
Potenza max. motore con resistenza elettrica	(W)	735	975	-	1344	-	1707	-	2017	-	2282	-	2306	-	2331
Corrente assorbita con resistenza elettrica	(A)	3,2	4,25	-	5,86	-	7,45	-	8,83	-	9,97	-	10,06	-	10,15
Attacchi batteria	ø (4R)	-	-	3/4"	-	3/4"	-	3/4"	-	3/4"	-	3/4"	-	3/4"	-
	ø (3R)	1/2"	1/2"	-	1/2"	-	3/4"	-	3/4"	-	3/4"	-	3/4"	-	3/4"
	ø (1R)	1/2"	1/2"	-	1/2"	-	1/2"	-	1/2"	-	1/2"	-	1/2"	-	1/2"

Figura 161: Caratteristiche generali dei fan coil di un altro costruttore

Tuttavia quando si predispone un progetto per un'opera pubblica che, quindi, dovrà essere sottoposto a gara di appalto occorre un progetto che possiamo definire “anonimo”, cioè un progetto nel quale non si fa riferimento ad alcun prodotto commerciale. Questo per non incorrere in denunce per turbativa d'asta. Si vedrà più avanti nel prossimo capitolo come non sia possibile avere caratteristiche ideali dei componenti perché questi sono costruiti dai vari costruttori secondo specifiche interne e con dimensioni stabilite dalle serie commerciali.

DATI GENERALI

Serie RAX	Modello	432	532	632	732	832	1032	1232
* Potenza frigorifera	kW	94	109	127	164	191	225	266
	frig/h	80.800	93.700	109.200	141.000	164.300	193.500	229.000
* Potenza assorbita totale	kW	38,5	40,5	48,5	62,6	72,3	84,2	98
* Corrente assorbita	A	220 V 130	–	–	–	–	–	–
	380 V	75	76	98	120	141	163	182
* Portata acqua	l/s	4,49	5,21	6,07	7,83	9,13	10,75	12,72
	m³/h	16,16	18,74	21,84	28,2	32,86	38,7	45,8
* Perdita di carico	kPa	27,5	28,4	37,3	54,9	37,3	53	54,9
	m C.A.	2,8	2,9	3,8	5,6	3,8	5,4	5,6
Superficie batterie condensanti	m²	2 x 2,45	2 x 3,35	2 x 3,35	4 x 2,25	4 x 2,78	4 x 3,65	4 x 3,65
Ranghi	n°	2	2	2	2	2	2	2
Portata aria totale	m³/s	40.000	43.700	52.000	71.500	78.100	91.300	106.000
	m³/h	11,11	12,14	14,44	19,86	21,69	25,36	29,44
Potenza sonora globale	dB(A)	85,5	90	91	92	92	94	95

Serie RAX-H	Modello	432	532	632	732	832	1032	1232
* Potenza frigorifera	kW	91,3	111	124	171	192	215	240
	frig/h	78.500	95.500	106.600	147.000	165.100	184.900	206.400
* Potenza assorbita totale	kW	37	36,5	45,1	59	66	79,2	94,3
* Corrente assorbita	A	220 V 125	–	–	–	–	–	–
	380 V	72,5	68	91	114	129	155	182
* Portata acqua	l/s	4,36	5,31	5,92	8,17	9,17	10,27	11,47
	m³/h	15,7	19,1	21,32	29,4	33,02	36,98	41,28
* Perdita di carico	kPa	26,5	29,4	35,3	58,9	37,3	49	45,1
	m C.A.	2,7	3	3,6	6	3,8	5	4,6
○ Potenza termica	kW	103,5	129	135	186	200	234	270
	kcal/h	89.000	111.000	116.100	160.000	172.000	201.200	232.000
○ Potenza assorbita totale	kW	39,3	39,5	48,8	62,2	69,2	80,25	96,5
○ Corrente assorbita	A	220 V 133	–	–	–	–	–	–
	380 V	77	75	99	120	139	157	186
○ Portata acqua	l/s	4,94	6,17	6,45	8,89	9,56	11,18	12,89
	m³/h	17,8	22,2	23,22	32	34,4	40,24	46,4
○ Perdita di carico	kPa	24,5	29,4	31,4	52	30,4	43,2	42,2
	m C.A.	2,5	3	3,2	5,3	3,1	4,4	4,3
Superficie batterie condensanti	m²	2 x 2,45	2 x 3,35	2 x 3,35	4 x 2,25	4 x 2,78	4 x 3,65	4 x 3,65
Ranghi	n°	3	3	3	3	3	3	3
Portata aria totale	m³/s	10	11,86	13,89	19,44	21,53	24,44	28,9
	m³/h	36.000	42.700	50.000	70.000	77.500	87.500	103.500
Potenza sonora globale	dB(A)	86	88,5	90,5	91,5	91,5	94	95

Serie RAX – RAX-H	Modello	432	532	632	732	832	1032	1232
Tipo evaporatore		fascio tubiero						
Contenuto acqua evaporatore	dm³	29	32,5	32,5	40	48	61,5	65,8
Collegamenti idraulici		flangianti						
Diametro collegamenti idraulici		2 1/2"	3"	3"	3"	4"	4"	4"
Tipo compressore alternativo		ermetico	semiermetico					
Numero compressori / circuiti		2	2	2	2	2	2	2
Parzializzazione	%	0 – 50 – 100						
Avviamento		part - winding						
Potenza motori ventilatori (1)	n° x kW	4 x 0,55	4 x 0,55	4 x 0,75	6 x 0,75	6 x 0,75	8 x 0,75	8 x 0,75
Velocità motori ventilatori	g/m	930	935	935	930	930	950	950
	g/s	15,5	15,6	15,6	15,5	15,5	15,8	15,8
Corrente di spunto	A	220 V 365	–	–	–	–	–	–
	380 V	210	165	177	210	239	360	420
Dimensioni	altezza	mm	1.430	1.830	1.830	2.180	2.180	2.180
	larghezza	mm	1.900	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200
	Profondità	mm	2.820	2.930	2.930	3.915	3.915	4.900
Peso	kg	RAX	1.160	1.610	1.670	2.020	2.236	2.776
		RAX-H	1.296	1.836	1.900	2.300	2.536	3.126

Figura 162: Esempio di un data sheet per la selezione delle pompe di calore

Il diametro dei tubi, ad esempio, varia in modo discreto secondo serie commerciali stabilite dalle norme UNI e DIN (serie UNI, serie gas, serie DIN, ...) e pertanto la tubazione di 3" è perfettamente reperibile commercialmente perché tutti i costruttori forniscono tubazioni con questo diametro.

Le dimensioni delle sezioni di attraversamento delle UTA (si suol dire la classe delle UTA) non sono standardizzate e pertanto se la sezione teorica di passaggio è di $0,86 \text{ m}^2$ si può avere una sezione commerciale di un costruttore di $0,85 \text{ m}^2$ o di $0,87 \text{ m}^2$ di un altro costruttore. Pertanto le dimensioni reali e le prestazioni reali dei componenti commerciali non sono standardizzate per i vari componenti di impianto ma obbediscono a criteri progettuali interni delle varie ditte costruttrici. Ancora un altro esempio. Se desideriamo selezionare fan coil possiamo subito osservare la grande variabilità di offerta del mercato.

In Figura 160 si hanno le caratteristiche generali dei fan coil forniti da un primo costruttore e in Figura 161 quelle di un secondo costruttore. Se si confrontano le rese termiche o quelle frigorifere dei vari modelli si osserva che, ad esempio, il primo fornisce 2580 W con il modello 01 mentre il secondo fornisce 2490 W. E' chiaro che se scegliamo i modelli del primo costruttore dovremo poi dimensionare le reti di distribuzione dell'acqua calda per le portate richieste dai quei modelli e le portate d'acqua possono variare anche sensibilmente dall'uno all'altro caso.

Lo stesso dicasi per le caldaie, le pompe di calore, le pompe di circolazione e/o le soffianti, per i vasi di espansione e per tutti gli altri componenti.

Non potendo eseguire la progettazione senza un riferimento dimensionale concreto è allora opportuno scegliere i componenti commerciali secondo i criteri che il Progettista si è imposto (qualità, prestazioni, garanzia, prezzi, reperibilità dei prodotti, qualità dell'assistenza, ...) e completare tutto il progetto come se si dovesse realizzare con i componenti selezionati.

Al momento di predisporre i documenti tecnico contabili (Analisi Prezzi, Elenco Prezzi, Computo Metrico, Capitolato Speciale, ..., vedi dopo) allora è necessario descrivere le caratteristiche di ciascun componente così come selezionato ma aggiungere la frase *Tipo modello XX del costruttore YYY.*

In definitiva le caratteristiche tecniche e funzionali elencate in descrizione di ciascuna voce debbono servire come linea guida per l'Appaltatore per selezionare quei componenti commerciali che più si avvicinano (secondo le indicazioni anche del Direttore dei Lavori) a quelli di progetto. E' allora necessario descrivere con completezza queste caratteristiche funzionali in modo da essere un vincolo contrattuale per l'Appaltatore.

Così, ad esempio, se indichiamo genericamente " ... *fan coil con potenza termica resa di 2090 W*" senza specificare la tipologia costruttiva (in acciaio protetto o altra tipologia costruttiva), il tipo di ventilatore (centrifugo, tangenziale), le caratteristiche elettriche (alimentazione, corrente e potenza richiesta) e di protezione (IP) e quant'altro necessario per identificare il prodotto con le caratteristiche prese a riferimento in fase progettuale allora l'Appaltatore potrà scegliere qualunque dispositivo che risponda al nome di fan coil e con potenzialità termica non inferiore a 2090 W senza rispondere di qualsivoglia altra caratteristica: Egli sceglierà semplicemente il dispositivo più economico possibile!

10.7.2 ESECUTIVO DI CANTIERE

Con questo termine ci si riferisce a disegni esecutivi che tengono conto degli effettivi dispositivi selezionati. Solitamente l'Appaltatore può utilizzare i disegni esecutivi di progetto tal quali, accettando quanto proposto dal Progettista, oppure rifare tutti gli esecutivi tenendo conto delle scelte impiantistiche e dei materiali selezionati.

In questo caso i disegni riportano le sigle commerciali dei componenti di impianto, tengono conto delle loro dimensioni e delle caratteristiche di funzionamento (specifiche tecniche).

Nel caso dei fan coil dianzi esaminato l'Appaltatore scegli quale tipo di fan coil installare e da questa scelta deriva poi il progetto della rete di distribuzione dell'acqua calda (e/o fredda per il caso estivo).

Oggi sono disponibili CAD elettronici che consentono di effettuare disegni esecutivi di cantiere in modo rapido in quanto hanno già, al loro interno, una libreria dati di vari costruttori per ciascun componente di impianto e pertanto, una volta effettuata la scelta del componente commerciale, si ha facilmente l'inserimento del simbolo e quant'altro nei disegni esecutivi.

10.8 DIMENSIONAMENTO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE

10.8.1 SCELTA DELLA DIFFERENZA DI TEMPERATURA DI PROGETTO

Uno dei dati di progetto più importanti e da cui dipende tutta la progettazione delle reti di distribuzione e la scelta della differenza di temperatura di progetto fra l'uscita ed il ritorno dell'acqua ai generatori termici.

Questo parametro influenza anche il dimensionamento dei corpi scaldanti (radiatori, pavimenti radianti, termoconvettori, ...) e non può più essere cambiato in seguito, ad esempio per ristrutturazione degli impianti, senza provocare gravi sbilanciamenti e malfunzionamento dei componenti. La temperatura di mandata viene scelta in funzione del tipo di generatore termico: le caldaie a condensazione, ad esempio, lavorano bene a bassa temperatura 50-60 °C, le pompe di calore fra 40 e 50 °C.

Nella seguente tabella si ha un quadro riassuntivo delle possibili scelte progettuali.

Temperature di mandata e di ritorno di progetto per $(t_e - t_u) = 10\text{ °C}$		Temperature di mandata e di ritorno di progetto per $(t_e - t_u) = 20\text{ °C}$		Temperature di mandata e di ritorno di progetto per $(t_e - t_u) = 30\text{ °C}$		Temperature di mandata e di ritorno di progetto per $(t_e - t_u) = 40\text{ °C}$		Temperatura media del fluido termovettore t_m	Differenza di temperatura tra fluido e ambiente Δt	Emissione termica del corpo scaldante espressa come percentuale di quella nominale UNI EN 442	Classificazione temperatura media
°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%	--
85	75	--	--	--	--	--	--	80	60	127	Molto alta
80	70	85	65	--	--	--	--	75	55	113	Alta
75	65	80	60	85	55	--	--	70	50	100	Nom. UNI EN 442
70	60	75	55	80	50	85	45	65	45	87	Medio alta
65	55	70	50	75	45	80	40	60	40	75	Media
60	50	65	45	70	40	75	35	55	35	63	Medio bassa
55	45	60	40	65	35	70	30	50	30	51	Bassa
50	40	55	35	60	30	65	25	45	25	41	Molto bassa

Figura 163: Selezione delle differenza di temperatura di progetto

La fase finale di progetto è quella di progettare le reti di distribuzione, Si vedrà nel Volume 3° come dimensionare correttamente tali reti, qui si vuole solo indicare una fase procedurale del progetto.

I metodi di calcolo sono in genere deterministici e possono anche essere implementati con programmi elettronici o con fogli elettronici.

Dimensionare le reti significa in pratica determinare i diametri commerciali delle tubazioni o le sezioni costruttive dei canali. Le altre dimensioni geometriche (lunghezza, altezza dei canali, ...) sono in genere imposti dall'architettura dell'edificio.

Occorre tenere ben presente che le reti di distribuzione debbo consentire ai componenti di impianto di funzionare correttamente e pertanto esse vanno progettate sulle reali esigenze dei terminali di impianto. Questo è necessario per garantire, oltre al corretto funzionamento dei terminali, anche la possibilità di regolazione dell'impianto e delle reti tecnologiche.

In definitiva per potere dimensionare la rete dobbiamo prima conoscere quali saranno i terminali utilizzati e le loro potenzialità richieste, ecco perché questa fase è ultima nella sequenza progettuale.

Non è possibile dimensionare una rete su richieste teoriche che necessariamente non troveranno riscontro su campo.

Così, ad esempio, un fan coil ha bisogno di una ben precisata portata di acqua calda o di acqua fredda per assicurare le sue prestazioni termiche, un radiatore deve avere un ben preciso ΔT fra la temperatura media dello stesso radiatore e l'ambiente per potere garantire la sua effettiva potenzialità termica.

Di queste esigenze termotecniche e progettuali si parlerà ampiamente nel Volume 3°.

Per potere effettuare il corretto dimensionamento delle reti occorre prima studiare i vari criteri di progetto che verranno illustrati nel prosieguo.

In genere si possono avere più reti di distribuzione e, per gli impianti misti, anche dei due tipi: ad acqua e ad aria.

Va tenuto presente che ogni rete di distribuzione d'acqua parte dalla sua pompa e che tutti i circuiti sono sempre da considerarsi in parallelo con la pompa. Pertanto l'organo motore è l'elemento di primaria importanza e va selezionato con molta cura.

Per i canali d'aria occorre considerare che ogni rete d'aria parte da una soffiante posta all'interno di un'UTA. Le reti possono essere aperte (cioè si chiudono negli ambienti) o chiuse se l'aria viene ripresa dagli ambienti ed inviata nuovamente alle UTA di competenza.

Anche in questo caso entrambi i tipi di circuiti sono in parallelo fra soffiante ed ambiente o fra mandata e ritorno delle soffianti.

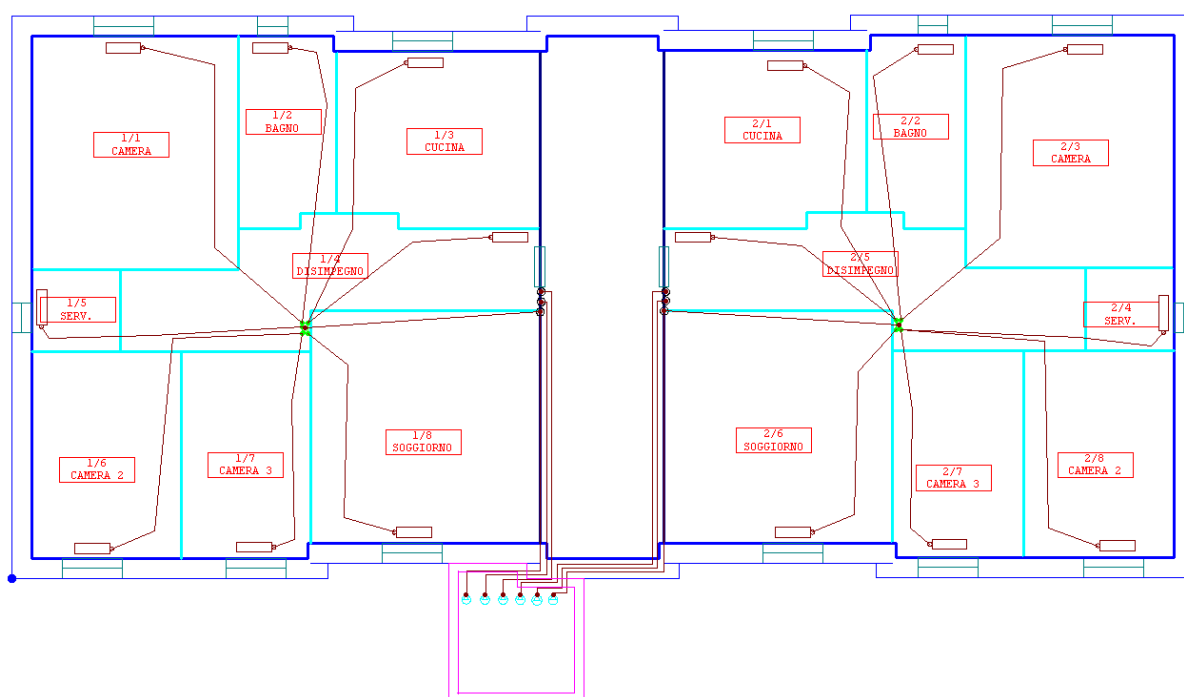


Figura 164: Esempio di schematizzazione di una rete di distribuzione a collettori complanari

PERDITE DI CARICO CONTINUE

$$r = 3,3 \cdot v^{0,13} \cdot \rho \cdot \frac{G^{1,87}}{D^{5,01}}$$

r (mm c.a./m); v (m²/s); ρ (kg/m³); G (l/h); D (mm)

PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE

$$z = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

z = perdita di carico localizzata, Pa
ξ = coefficiente di perdita localizzata, adimensionale
ρ = massa volumica del fluido, kg/m³
v = velocità media del flusso, m/s

Geometria	Variable indipendente	ξ
	r/D = 1,0	0,28
	= 2,0	0,15
	= 4,0	0,12
	= 6,0	0,12
	D ₂ /D ₁ = 1,1	0,038
	= 1,3	0,17
	= 1,5	0,31
	= 2,0	0,56
	= 4,0	0,88
	= 6,0	0,95
	D ₂ /D ₁ = ∞	1,06
	D ₂ /D ₁ = ∞	1,06
	D ₂ /D ₁ = 0,90	0,031
	= 0,80	0,13
	= 0,70	0,12
	= 0,50	0,33
	= 0,30	0,41
	= 0,10	0,48
	D ₂ /D ₁ = 8	0,78
	D ₂ /D ₁ = 6	0,50
	D ₂ /D ₁ = 5	0,23

Figura 165: Dati relativi al dimensionamento delle reti di distribuzione

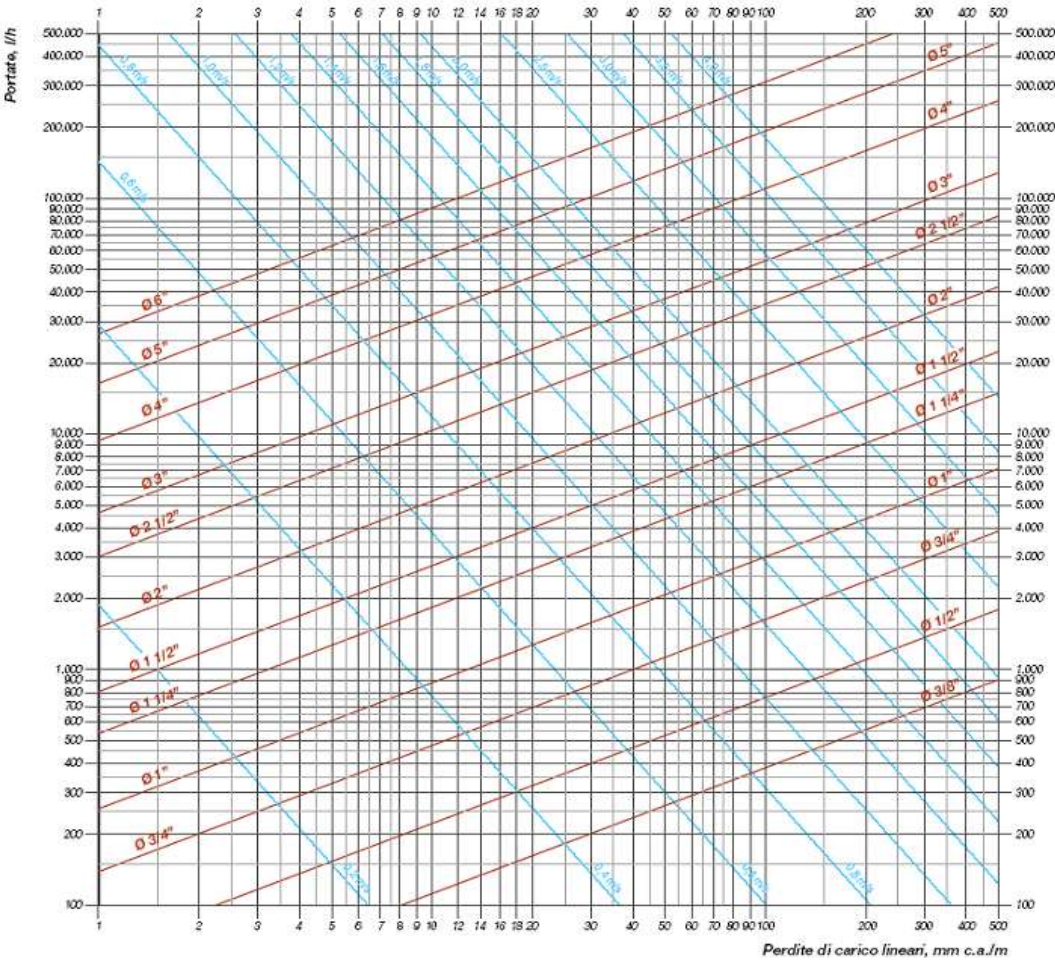


Tabella 48: Abaco per il calcolo delle perdite specifiche nelle tubazioni d'acqua

10.8.2 ISOLAMENTO DELLE TUBAZIONI

Le tubazioni calde e/o fredde debbono essere isolate termicamente per evitare perdite di energia dalla superficie laterale. Nella seguente tabella si hanno indicazioni sui valori degli spessori in funzione del diametro dei condotti.

ISOLAMENTO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE DEL CALORE NEGLI IMPIANTI TERMICI

Le tubazioni delle reti di distribuzione dei fluidi caldi in fase liquida o vapore degli impianti termici devono essere coibentate con materiale isolante il cui spessore minimo è fissato dalla seguente tabella 1 in funzione del diametro della tubazione espresso in mm e della conduttività termica utile del materiale isolante espressa in $W/m^{\circ}C$ alla temperatura di $40^{\circ}C$.

Tabella 1

Conduttività termica utile dell'isolante ($W/m^{\circ}C$)	Diametro esterno della tubazione (mm)					
	< 20	da 20 a 39	da 40 a 59	da 60 a 79	da 80 a 99	> 100
0.030	13	19	26	33	37	40
0.032	14	21	29	36	40	44
0.034	15	23	31	39	44	48
0.036	17	25	34	43	47	52
0.038	18	28	37	46	51	56
0.040	20	30	40	50	55	60
0.042	22	32	43	54	59	64
0.044	24	35	46	58	63	69
0.046	26	38	50	62	68	74
0.048	28	41	54	66	72	79
0.050	30	44	58	71	77	84

Figura 166: Spessori degli isolanti delle tubazioni

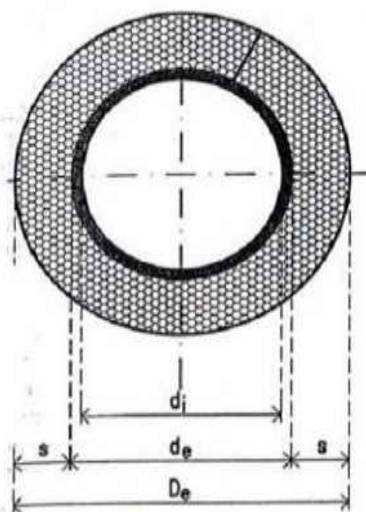


Figura 167: Schema di isolamento delle tubazioni

10.9 DISEGNO ESECUTIVO DEGLI IMPIANTI

Avute, dalla fase precedente, le dimensioni delle tubazioni e dei canali si può procedere al tracciamento finale delle reti risolvendo tutti i possibili problemi di compatibilità architettonica.

Occorre poi predisporre i disegni impiantistici di ciascun componente e cella centrale termica, come illustrato nelle due figure seguenti.

Si osservi che gli esecutivi di cantiere sono gli unici documenti che sono disponibili in cantiere e pertanto debbono contenere tutte le informazioni (dimensionali, termotecniche o di qualsivoglia altra natura) necessarie all'esecuzione dei lavori.

I disegni debbono avere una scala grafica consigliata di 1:50, utilizzare i simbolismi grafici standard dei componenti, indicare tutti i dati dimensionali e in genere tutte le informazioni impiantistiche necessarie per l'installazione degli impianti meccanici.



Figura 168: Esempio di rete di distribuzione dell'aria dimensionata

Spesso, un po' forse per un'abitudine antica, i disegni esecutivi sono schematici (ad esempio linee unifilari per i canali) e privi delle necessarie indicazioni pratiche.

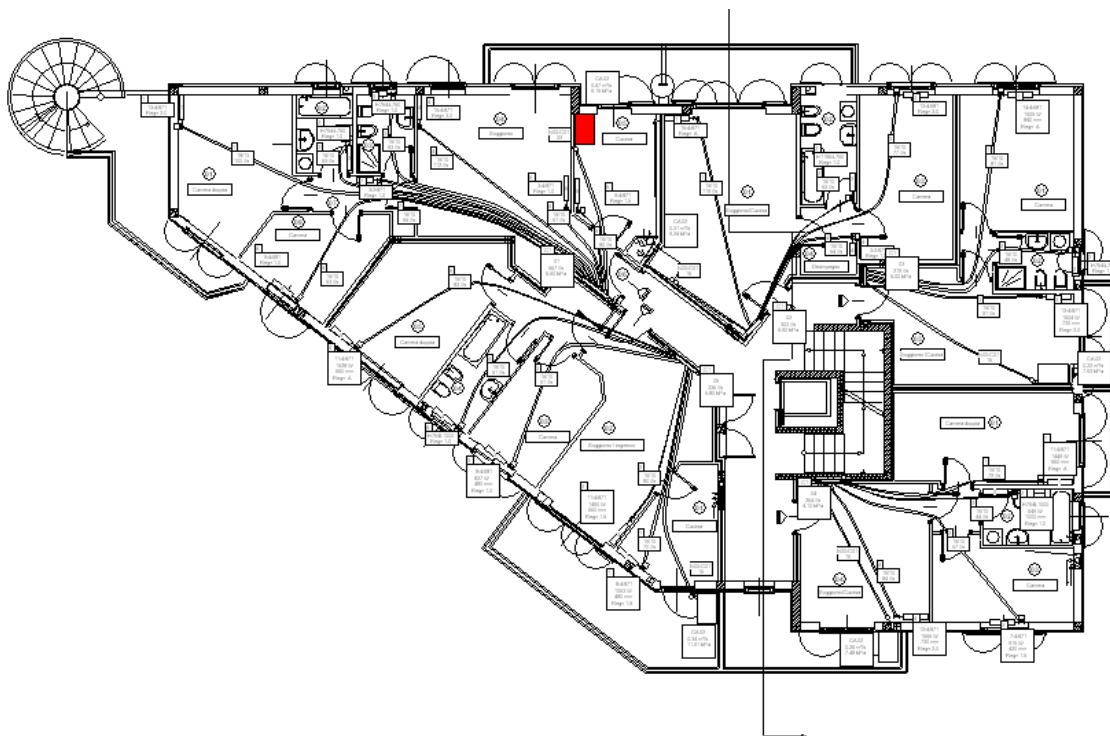


Figura 169: Esempio di rete a collettori complanari dimensionata

Si ricordi che gli operai lavorano bene solo quando hanno tutto sott'occhio e non debbono fare i conti in cantiere. Ad esempio le quotature sono spesso "insufficienti" nel senso che si possono avere alcune dimensioni solo facendo somma o differenza di due o più quotature. Questo è un

rischio grave perché una somma o una sottrazione mal eseguita in cantiere porta ad avere un errore di installazione che può risultare grave.

Quindi occorre quotare i disegni non avendo di mira di indicare il numero di dimensioni minimo per conoscere tutto le altre dimensioni bensì considerando che gli operai non debbono calcolare nulla e quindi tutte le dimensioni (anche se ridondanti) debbono essere esplicite.

Schema di una centrale termica con bollitore ad accumulo

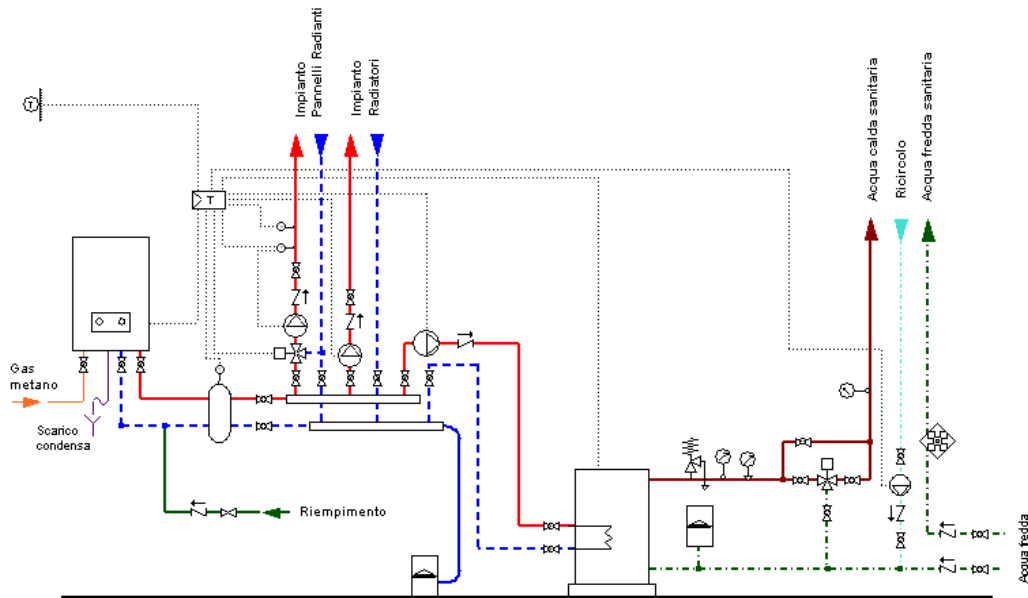


Figura 170: Schema di installazione di un generatore termico

Valvolame Segno grafico generale		Giunto scorrevole Segno grafico generale	
Valvola a sfera		Giunto isolante	
Valvola a maschio		Giunto elastico antivibrante	
Valvola a globo		Tappo	
Valvola con otturatore a diaframma		Fondello	
Valvola a farfalla		Riduzione concentrica	
Valvola a galleggiante		Riduzione eccentrica	
Valvola per terminali		Supporto	
Valvola ad angolo (a squadra)		Supporto scorrevole	
Valvola a tre vie		Supporto a punto fisso	

Figura 171: Esempi di simboli grafici per i disegni esecutivi

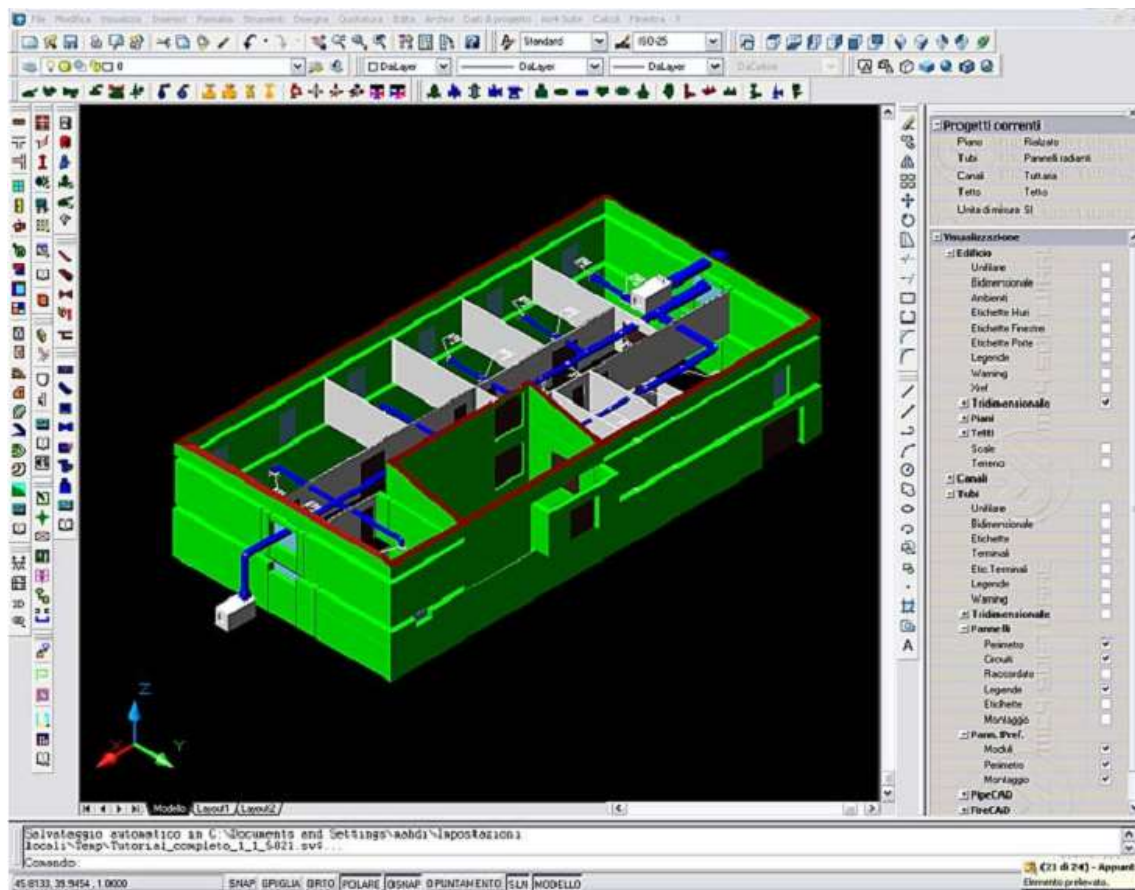


Figura 172: Uso di CAD per il progetto delle reti di distribuzione

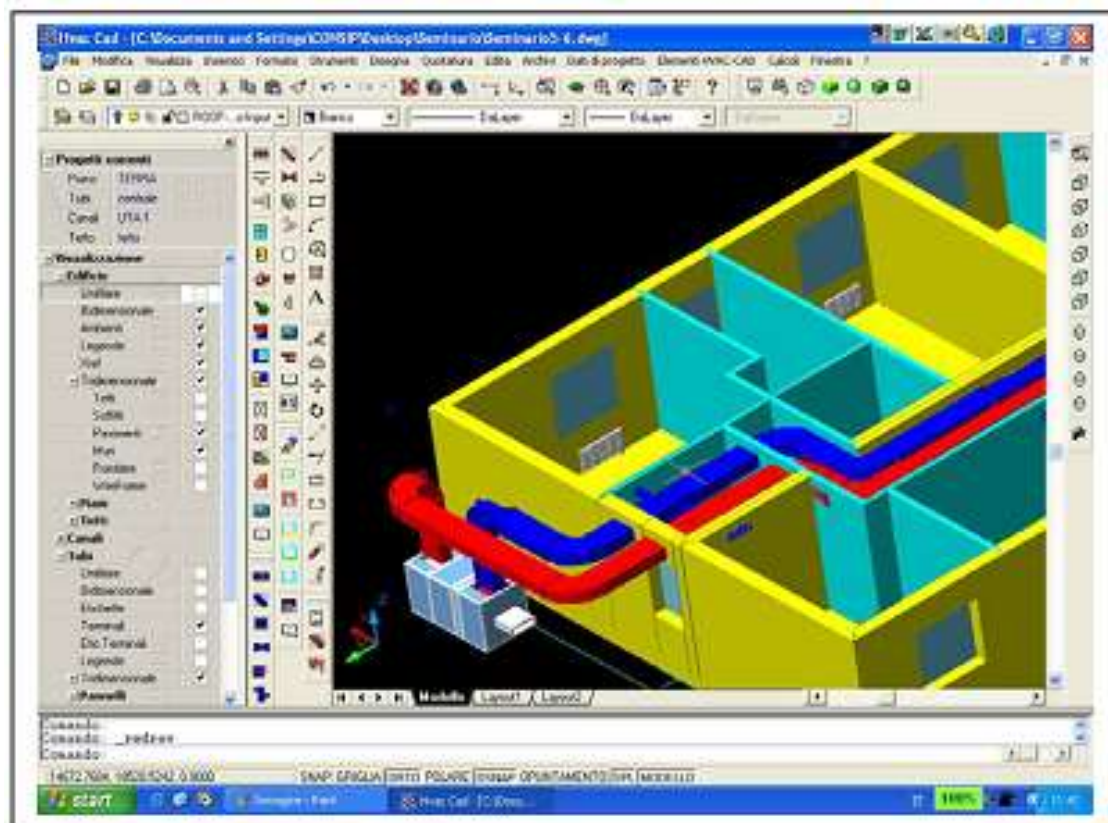


Figura 173: Esempio di uso di CAD termotecnici

10.10 DOCUMENTI TECNICO CONTABILI

La necessità di avere impianti all'interno degli edifici⁵¹ è stata ampiamente discussa in relazione alle variazioni climatiche esterne al fine di raggiungere e mantenere le condizioni di comfort all'interno degli ambienti.

Si osservi come il termine *ambiente* è qui utilizzato in modo assai generalizzato: è *ambiente* anche la cabina di una astronave all'interno della quale si debbono creare condizioni termoigrometriche che debbono garantire la sopravvivenza degli occupanti. Nel capitolo sulle *Condizioni Ambientale di Benessere* si sono discusse ampiamente sia le stesse condizioni di benessere che le conseguenze che si hanno sugli occupanti quando ci si allontana da esse.

In questo ultimo decennio è sempre più sentita l'esigenza di una *progettazione di qualità* in senso lato e sono state emanate norme tecniche (vedi la *UNI-EN 19000, 19001, 19002, 19003* derivate dalla analoghe norme *ISO 9000*) atte a garantire un percorso procedurale che porti ad una progettazione congruente con le leggi e le norme esistenti, cioè ad una progettazione *a regola d'arte*.

Nel campo impiantistico la *progettazione di qualità* impone vincoli ancora maggiori che in altri campi perché, oltre alle norme tecniche e legali, occorre soddisfare anche l'esigenza degli individui al comfort ambientale. E' allora necessario raggiungere un sistema di qualità negli impianti di climatizzazione che non sia limitato solo al momento iniziale (*progettuale*) ma anche alla gestione e manutenzione degli stessi impianti. Ciò è richiesto dalle ultime leggi emanate in materia di sicurezza ed uso razionale dell'energia negli impianti di climatizzazione (ex *L. 46/90* del 5/3/90 sostituita dal *DM 27/03/2008 N. 37, L. 10/91* del 9/01/91 e successivi aggiornamenti, *DPR 224* del 24/5/88 relativo alla responsabilità per danno da prodotto difettoso).

La qualità negli impianti di climatizzazione garantisce, in fondo, la sicurezza e l'affidabilità sia agli operatori (clienti e fornitori) che ai fruitori dei servizi. La progettazione di qualità garantisce, inoltre, la competitività e il guadagno ponendo come obiettivo l'eliminazione degli sprechi e degli errori.

Si vuole qui dare un breve cenno sui richiami legislativi in materia di qualità negli impianti. Alcuni concetti risulteranno più chiari dopo lo studio progettuale degli impianti di climatizzazione che avrà inizio dal successivo capitolo.

In particolare si desidera evidenziare che la progettazione non si conclude con la stesura dei disegni esecutivi ma occorre completare i progetti con una serie di altri allegati tecnici contabili che si vedranno nel prosieguo.

10.10.1 PRINCIPALI RICHIAMI LEGISLATIVI: EX LEGGE 46/90 ORA DM 37/08, L. 10/91⁵², DPR 412/93, DPR 224/88, D.LGS 192/05 E D.LGS 311/06 E SUCCESSIVI AGGIORNAMENTI

Ai fini qui proposti sono evidenziabili, nell'ambito delle leggi sopra indicate:

- *la tutela del consumatore;*
- *l'obiettivo di migliorare la qualità della vita nel rispetto dell'ambiente;*
- *l'obbligatorietà della progettazione degli impianti di climatizzazione (cioè di tutti quelli destinati alla climatizzazione invernale di qualsiasi potenza e destinazione d'uso degli edifici nonché gli impianti destinati al condizionamento estivo con potenzialità superiore a 42 kW nell'ambito delle abitazioni civili);*

⁵¹ Si ricordi che ci si sta riferendo agli edifici (*civili ed industriali*) per comodità di trattazione. Quanto segue può essere facilmente estrapolato a qualsivoglia situazione progettuale impiantistica. Si invitano gli Allievi a non trascurare quest'ultimo aspetto.

⁵² Gli aspetti progettuali relativi al risparmio energetico, alla verifica degli isolamenti e sul consumo saranno sviluppati nel §2.1.

- *la progettazione e l'esecuzione a regola d'arte delle opere;*
- *la certificazione di conformità dei lavori svolti;*
- *l'utilizzo, nella costruzione degli impianti, di prodotti certificati;*
- *il collaudo delle opere realizzate (sole dove è previsto in relazione a leggi specifiche);*
- *la verifica nel tempo degli impianti (solo nelle centrali termiche);*
- *la certificazione energetica dell'edificio (ancora in attesa del decreto attuativo).*

E' opportuno chiederci cosa si può intendere con progettazione di qualità alla luce di quanto brevemente sopra esposto. La progettazione di qualità ha lo scopo di perseguire:

- *Il miglioramento della qualità della vita;*
- *Una maggior sicurezza negli impianti;*
- *Un maggior risparmio energetico;*
- *Un conseguente minor inquinamento ambientale.*

Pertanto si può intendere per progettazione di qualità un insieme di regole che consenti di ottenere impianti e sistemi che garantiscano nel tempo il miglior risultato di comfort con il minor costo di gestione. Un tale sistema-impianto può, di conseguenza, conferire maggior valore (anche commerciale) alla struttura e al complesso *edificio-impianto* relativamente al costo di investimento. La qualità nella progettazione impiantistica deve, pertanto, creare procedure normalizzate che tendano ad annullare la possibilità di errori. Queste procedure possono brevemente essere così classificate:

Procedure Interne

- *Raccolta dei dati di progetto;*
- *Metodologie di calcolo;*
- *Esecuzione dei tabulati;*
- *Archiviazione dei dati;*
- *Circolazione delle informazioni;*
- *Stesura dei manuali di funzionamento;*
- *Collaudo e gestione*

Procedure Esterne

- *Interdisciplinarietà con studi di progettazione collegati: edili, elettrici, architettonici, ...*
- *Verifiche di cantiere;*
- *Aggiornamenti dovuti a modifiche;*
- *Collaudo parziale durante l'esecuzione delle opere;*
- *Collaudo finale con riporto dei dati al fine di migliorare il prodotto futuro.*

10.10.2 SCOPO DI UN IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE

Al fine di effettuare una buona progettazione occorre avere ben chiaro lo scopo di un impianto di climatizzazione permanente. Possiamo così riassumerlo:

- *creare e mantenere nel tempo, all'interno degli ambienti, condizioni termoigrometriche di comfort⁵³ indipendentemente dalle condizioni esterne;*
- *controllare il movimento dell'aria nella zona abitata;*

⁵³ Si ricorda che il *comfort* è legato ad un giudizio da parte degli occupanti quindi ad una soggettività della risposta che non potrà mai essere totale al 100% degli occupanti. Pertanto occorre tener conto delle percentuali di insoddisfatti per classificare il grado di comfort che si intende realizzare.

- *fornire una buona qualità dell'aria grazie ad adeguati ricambi e ad efficaci filtrazioni;*
- *evitare infiltrazioni d'aria dall'esterno o migrazioni indesiderate tra ambienti interni;*
- *riuscire ad essere flessibile sino alla personalizzazione, proprio per garantire il comfort e il benessere ad un sempre maggior numero di soggetti che usufruiscono di queste tecnologie;*
- *garantire accessibilità ed affidabilità per un ottimo rapporto gestionale di costi/benefici.*

Ciascuna delle azioni sopra indicate richiede una ben precisa scelta progettuale, come si cercherà di evidenziare nel prosieguo.

10.10.3 PRINCIPALI FASI PER LA REALIZZAZIONE E CONDUZIONE DEGLI IMPIANTI

Per il raggiungimento di un prodotto di qualità si possono schematizzare, in successione logica e di responsabilità, quattro fasi fondamentali:

- *Progettazione*
- *Installazione*
- *Collaudo*
- *Gestione*

10.10.4 CODIFICAZIONE DELLA TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

Con riferimento alla Norma UNI 10339 si possono così classificare gli impianti:

Posizione	Lettera	Cifra	Significato
1	X	-	Impianti per climatizzazione
	Y	-	Impianti per termoventilazione
	Z	-	Impianti per ventilazione
2	-	0	Servizio permanente
		1	Servizio Invernale
		2	Servizio estivo
3	-	0	Funzionamento continuo
		1	Funzionamento discontinuo periodico
		2	Funzionamento discontinuo aperiodico
4	-	0	Trattamento centralizzato
		1	Trattamento centralizzato dell'aria esterna
		23	Trattamento locale

Tabella 49: Codificazione degli Impianti secondo la UNI 10339

Le funzioni da svolgere per le varie tipologie di impianto sono le seguenti:

Tipo di Impianto	Funzione svolta					
	Filtrazione	Filtrazione opzionale	Riscaldamento	Raffrescamento	Umidificazione	Deumidificazione
<i>Climatizzazione</i>	X		X	X	X	X
<i>Climatizzazione invernale</i>	X		X		X	X
	X		X	X	X	
<i>Climatizzazione estiva</i>	X			X	X	X

	X			X		X
Termoventilazione	X		X			
Termoventilazione invernale	X		X			
Termoventilazione estiva	X			X		
Ventilazione		X			X	X
		X			X	
		X				X
		X				

Tabella 50: Funzioni svolte per tipologie di impianti

10.11 RICHIESTA DI UN PROGETTO

Si possono avere varie forme di richiesta di un progetto di impianti tecnici per l'edilizia e in particolare:

- *Richiesta generica di progetto offerta*
- *Richiesta in base ad un progetto di massima del Committente*
- *Richiesta in base ad un progetto esecutivo del Committente.*

Vediamo brevemente quali sono le fasi e gli allegati progettuali necessari.

10.11.1 RICHIESTA GENERICA DI PROGETTO – OFFERTA IMPIANTISTICO

Occorre richiedere al Committente i disegni planimetrici, le sezioni e i prospetti dell'edificio corredati almeno dalle seguenti indicazioni:

- *Orientamenti, situazione topografica, edifici circostanti, presenza di piante ad alto fusto,...*
- *Composizione e caratteristiche delle strutture e dei componenti architettonici necessari ad individuare il comportamento termico dell'edificio quale, ad esempio, le stratigrafie, le ombre portate da elementi architettonici, le caratteristiche dei vetri utilizzati;*
- *Locali o spazi disponibili per ospitare le apparecchiature che compongono l'impianto e la posizione di eventuali canne fumarie, delle prese d'aria, degli espulsori, degli esalatori, delle colonne di scarico;*
- *Carichi massimi ammissibili delle strutture destinate a sostenere le apparecchiature (in kg/m² o N/m²);*
- *Posizione degli allacciamenti dei servizi esterni: fognature, energia elettrica, acque di rete, gas naturale, servizi telefonici e telematici, ...*
- *Destinazione d'uso dei singoli ambienti;*
- *Affollamenti di riferimento. In assenza di riferimenti certi si adottano gli indici di affollamento di cui al prospetto VIII dell'Appendice A della Norma UNI 10339;*
- *Valore di potenza termica ceduta all'abitazione dalle eventuali fonti interne di calore (illuminazione, apparecchi elettrici, altre sorgenti, ...) previsto nell'arco della giornata;*
- *Dettaglio degli eventuali usi variabili o discontinui (settimanali o saltuari);*
- *Altri elementi rilevanti ai fini del dimensionamento degli impianti (ad esempio, le cappe di estrazione dell'aria, le sorgenti di calore latente diverse dalle persone).*

10.11.2 RICHIESTA IN BASE AD UN PROGETTO DI MASSIMA DEL COMMITTENTE

Oltre a quanto già indicato nel punto precedente occorre avere il Progetto di Massima corredato dalle seguenti informazioni:

- *Capitolato comprendente:*

- *Tipo di impianto prescelto, con riferimento a quanto specificato nella precedenti tabelle (UNI 10399);*
- *Descrizione del suo funzionamento;*
- *Caratteristiche delle principali apparecchiature previste.*
- *Disegni relativi al progetto di massima contenenti:*
 - *Posizione dell'apparecchiatura e dei dispositivi costituenti l'impianto;*
 - *Percorsi indicativi delle tubazioni e condotti d'aria;*
 - *Schemi di principio dell'impianto.*

10.11.3 RICHIESTA IN BASE AD UN PROGETTO ESECUTIVO DEL COMMITTENTE

Occorre avere il progetto esecutivo composto almeno dalle seguenti parti:

- *Capitolato Speciale d'appalto contenente le indicazioni esposte nel precedente punto e le modalità di collaudo;*
- *Specifiche tecniche di fornitura e posa in opera dei materiali e delle apparecchiature;*
- *Disegni esecutivi dell'impianto.*

In relazione ai termini economici della richiesta d'offerta (a forfait, a ribasso o a rialzo su elenco prezzi unitari, ...) possono essere allegati al progetto esecutivo l'elenco dei prezzi unitari ed il computo metrico (eventualmente estimativo).

10.11.4 CONTENUTI DI UN PROGETTO -OFFERTA

La presentazione del Progetto – Offerta in base alla prescrizione di cui al §10.11.1 implica la scelta dei parametri di calcolo, dei criteri progettuali e del tipo di impianto più adatto a soddisfare le richieste del Committente. In particolare il Progetto – Offerta deve contenere quanto di seguito riportato:

Una o più tabelle riassuntive:

- *Dei parametri assunti a base di calcolo, tra cui le condizioni interne ed esterne di riferimento nonché le portate di aria esterna introdotta e velocità medie dell'aria negli ambienti climatizzati;*
- *Delle condizioni di funzionamento delle apparecchiature in corrispondenza del massimo carico dell'impianto;*
- *Dei massimi valori di velocità dell'acqua e dell'aria e delle perdite di carico rispettivamente nelle tubazioni e nei condotti dell'aria.*

Relazione tecnica illustrativa dell'Impianto con indicazione almeno di:

- *Impianto prescelto, con riferimento a quanto specificato alla norma UNI 10399;*
- *Caratteristiche funzionali dei principali apparati e componenti: portate e prevalenze di pompe e ventilatori, condizioni termoigrometriche dei trattamenti d'aria, potenze termiche prodotte da generatori o scambiate in scambiatori di calore, potenze elettriche assorbite;*
- *Sistema di regolazione automatica con indicazione delle modalità e dei parametri di funzionamento (nelle diverse stagioni);*
- *Potenza elettrica installata e massima contemporanea e consumi di punta dei combustibili e dell'acqua, relative posizioni di consegna.*

Disegni descrittivi dell'impianto con le seguenti indicazioni:

- *Posizioni dei principali componenti ed eventuali interventi strutturali e/o edili richiesti per la loro collocazione;*
- *Limiti di fornitura e caratteristiche degli allacciamenti per combustibili, fluidi ed energia elettrica (pressioni, portate, tensioni, potenze elettriche, livelli di temperatura, ...).*

10.12 DATI DI PROGETTO PER UN IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE

E' utile predisporre una scheda di raccolta dei dati necessari per la progettazione di impianto di climatizzazione, ai sensi della *UNI 10339*. Quanto segue presuppone la conoscenza delle tecniche progettuali e pertanto se ne consiglia la *rilettura* solo dopo aver completato una prima lettura degli altri argomenti. I significati di alcuni termini saranno chiari dopo questa lettura.

10.12.1 DATI GEOGRAFICI E TERMOIGROMETRICI ESTERNI

- Località
- Numero dei gradi giorno
- Zona climatica
- Durata giornaliera del periodo di riscaldamento, *h*
- Durata giornaliera del periodo di funzionamento dell'impianto, *h*
- Durata annuale del periodo di riscaldamento, *g*
- Valore minimo della temperatura esterna invernale, °C
- Umidità relativa invernale, %
- Valore medio stagionale della temperatura esterna, °C
- Escursione media stagionale della temperatura esterna, °C
- Valore massimo della temperatura esterna estiva, °C
- Umidità relativa estiva, %
- Valore massimo medio della temperatura estiva a base dei calcoli, °C
- Escursione termica giornaliera estiva, °C

10.12.2 COEFFICIENTI DI TRASMITTANZA TERMICA

Per le strutture rilevanti ai fini dei calcoli termotecnici occorre disporre dei seguenti dati:

- Trasmittanza del tamponamento esterno, W/m^2K
- Trasmittanza dei serramenti esterni, W/m^2K
- Trasmittanza della copertura, W/m^2K
- Trasmittanza del pavimento, W/m^2K
- Trasmittanza dei muri interni, W/m^2K
- Trasmittanza delle solette intermedie, W/m^2K
- Presenza di ombreggiamenti esterni rilevanti

10.12.3 AFFOLLAMENTI NEGLI AMBIENTI

- Affollamento massimo negli ambienti, numero di persone presenti costantemente,
- Affollamento massimo, numero di persone per unità di superficie calpestabile
- Calore sensibile emesso per attività moderata, *W*
- Calore latente emesso per attività moderata, *W*
- Attività metabolica estiva, *Met*
- Resistenza termica dell'abbigliamento estivo, *Clo*
- Attività metabolica invernale, *Met*
- Resistenza termica dell'abbigliamento invernale, *Clo*

10.12.4 ILLUMINAZIONE ED UTENZE ELETTRICHE

- Carico termico dovuto all'illuminazione, W/m^2
- Carico termico dovuti ad apparecchiature varie, W/m^2

- *Carico termico dovuto ai computer, W/m^2*

10.12.5 GIORNO DI RIFERIMENTO NEL PROGETTO

- *Mese considerato per il carico termico estivo*
- *Giorno considerato*
- *Ora considerata*

10.12.6 VARIABILI INTERNE AI LOCALI CONDIZIONATE

- *Temperatura interna invernale, $^{\circ}C (\pm 2^{\circ}C)$*
- *Umidità relativa invernale, % ($\pm 5\%$)*
- *Temperatura interna estiva, $^{\circ}C (\pm 1^{\circ}C)$*
- *Umidità relativa estiva, % ($\pm 5\%$)*
- *Velocità dell'aria nella zona occupata, m/s*
- *Rumorosità dovuta all'impianto (metodo NR, NC o RC), dB*
- *Volumi dei locali dei servizio, m^3*

10.12.7 VALORI LIMITI NELLA PROGETTAZIONE

Si osservi ancora che, ai fini della corretta progettazione occorre rispettare i seguenti limiti:

- *Temperatura media radiante delle pareti di $\pm 4^{\circ}C$ rispetto alla temperatura ambiente;*
- *Asimmetrie radianti verticali, $< 5^{\circ}C$*
- *Asimmetrie radianti orizzontali, $< 10^{\circ}C$*
- *Velocità massima di variazione della temperatura a bulbo secco, $1^{\circ}C/h$*
- *Velocità massima di variazione dell'umidità relativa, $10\%/h$*
- *Velocità massima dell'aria considerata con intensità di turbolenza, 60%*
- *Variazione massima del livello sonoro secondo quanto indicato dalla norma UNI 8199/81*
- *Voto medio previsto, PMV*
- *Percentuale di insoddisfatti, PPD*

10.12.8 RICAMBI D'ARIA

Per ciascuna zona occorre indicare i ricambi d'aria espressi in $m^3/persona$ o in $Vol/amb/h$

10.12.9 MAGGIORAZIONI PER DISPERSIONI

Le maggiorazioni per dispersioni sono date in forma percentuale delle dispersioni basilari

S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
-	5%	10%	15%	20%	20%	15%	10%

Tabella 51: Maggiorazione delle dispersioni per orientamento

10.12.10 MAGGIORAZIONI PER INTERMITTENZA

Le maggiorazioni per intermittenza sono espresse in forma percentuale delle dispersioni di base.

10.12.11 DATI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE PER LA CLIMATIZZAZIONE/RISCALDAMENTO

- *Temperatura del fluido caldo dell'unità di trattamento aria, $^{\circ}C$*
- *Temperatura fluido freddo del condizionatore dell'aria primaria, $^{\circ}C$*
- *Temperatura del fluido caldo del circuito primario degli scambiatori di calore, $^{\circ}C$*

- *Temperatura del circuito del ventilconvettori in fase di riscaldamento, °C*
- *Temperatura del circuito del ventilconvettori in fase di raffrescamento, °C*
- *Temperatura del fluido caldo con utilizzo del desurriscaldatore del gruppo frigorifero, °C*

10.12.12 POTENZE IMPIEGATE ED ASSORBITE DALLE PRINCIPALI APPARECCHIATURE

- *Potenza dei gruppi termici, kW*
- *Resa dei gruppo termici*
- *Potenza dei refrigeratori, kW*
- *Resa dei refrigeratori*
- *Potenza assorbita dalle CTA, kW*
- *Potenza assorbita dalle pompe di circolazione, kW*
- *Potenza assorbita dai ventilatori, kW*
- *Potenza assorbita dai ventilconvettori, kW*
- *Alimentazione elettrica: 380/3/50 + N , 220/1/50 (24 V cc per ausiliari)*
- *Alimentazione gas metano, nm³/h*
- *Pressione di alimentazione del gas metano, bar*
- *Alimentazione dell'acqua, m³/h*
- *Pressione di alimentazione dell'acqua, bar*
- *Motori ad avviamento diretto, < 7.5 kW*
- *Motori ad avviamento stella – triangolo, > 7.5 kW*

10.13 COLLAUDO DEGLI IMPIANTI TERMICI

Il collaudo di un impianto termico deve verificare la conformità e la funzionalità dell'impianto termico alle specifiche di Capitolato Speciale di Appalto. In una visione più moderna, anche alla luce delle recenti tendenze nell'ambito della *qualità* (vedi *ISO-EN 19000*), si può affermare che il collaudo è anche una verifica di qualità del prodotto intesa come *capacità di rispondere al dettato di una norma o ad un patto contrattuale*.

Per quanto ora affermato scaturisce la necessità (direi anche l'obbligatorietà) di precisi riferimenti normativi progettuali, esecutivi e funzionali. In questi ultimi anni si sta verificando una sorta di rinascimento in questo settore anche grazie, e lo si più volte sottolineato, alle norme europee. In genere le norme sono viste con sospetto dai progettisti poiché sono considerate (e in parte lo sono veramente) limitative della loro libertà e fantasia creativa.

Dai più la norma è vista come *sicurezza per gli incompetenti, stimolo per gli esperti, deterrente per i disonesti*. Volendo qui sottolineare solamente gli aspetti positivi si può dire che la norma protegge il committente non esperto perché gli fornisce precise indicazioni sui suoi diritti. Protegge anche l'installatore dal committente che vuole fare il furbo richiedendo più di quanto è nel suo diritto (soprattutto in mancanza di un riferimento contrattuale preciso e dettagliato).

10.13.1 RIFERIMENTI NORMATIVI PER IL COLLAUDO

I riferimenti normativi per il collaudo di impianti termici sono i seguenti:

- *UNI CTI 5364 del settembre 1976 per gli impianti per civili abitazione;*
- *UNI CTI 8854 del 1986 per edifici adibiti ad attività artigianali ed industriali.*
- *L. 46/90 sulla sicurezza degli impianti termici ed elettrici negli edifici;*
- *L. 10/91 e sue norme e regolamenti collegati per il risparmio energetico.*

Le norme fanno esplicita richiesta di codificare gli impianti (vedi §10.10.4) e di fissare con attenzione le specifiche progettuali (vedi §10.12).

10.13.2 CRITERI COSTRUTTIVI DEGLI IMPIANTI TERMICI

Per una migliore analisi si riporta integralmente quanto previsto dal *Capitolato Speciale di Appalto* per l'installazione di impianti di riscaldamento e condizionamento, aggiornato alla L. 18/11/1998 n. 415.

PARTE QUINTA - PRESCRIZIONI TECNICHE PER L'ESECUZIONE DI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO E DI CONDIZIONAMENTO

Art. I: DEFINIZIONI GENERALI IMPIANTI

Ferme restando le disposizioni di carattere generale riportate negli articoli precedenti, gli impianti da realizzare si intendono costruiti a regola d'arte e dovranno pertanto osservare le prescrizioni del presente capitolato, dei disegni allegati, delle norme tecniche dell'UNI e della legislazione tecnica vigente.

Il progetto esecutivo finale degli impianti, se eseguito dall'Appaltatore, dovrà essere approvato dal Committente almeno 90 giorni prima dell'inizio dei lavori relativi e presentato contestualmente alla campionatura di tutti gli elementi; se eseguito dal Committente, dovrà essere consegnato all'Appaltatore almeno 90 giorni prima dell'inizio dei lavori relativi.

Le caratteristiche di ogni impianto saranno così definite:

- a) dalle prescrizioni generali del presente capitolato;
- b) dalle prescrizioni particolari riportate negli articoli seguenti;
- c) dalle eventuali descrizioni specifiche aggiunte come integrazioni o come allegati al presente capitolato;
- d) da disegni, dettagli esecutivi e relazioni tecniche allegati al progetto.

Resta, comunque, contrattualmente fissato che tutte le specificazioni o modifiche apportate nei modi suddetti fanno parte integrante del presente capitolato.

Tutte le tubazioni od i cavi necessari agli allacciamenti dei singoli impianti saranno compresi nell'appalto ed avranno il loro inizio dai punti convenuti con le Società fornitrici e, comunque, dovranno essere portati al cancello d'ingresso del lotto o dell'area di edificazione; tali allacciamenti ed i relativi percorsi dovranno comunque essere in accordo con le prescrizioni fissate dalla Direzione dei Lavori e saranno eseguiti a carico dell'Appaltatore.

Restano comunque esclusi dagli oneri dell'Appaltatore i lavori necessari per l'allaccio della fognatura dai confini del lotto alla rete comunale; in ogni caso l'Appaltatore dovrà realizzare, a sue spese, la parte di rete fognante dai piedi di ciascuna unità abitativa fino alle vasche o punti di raccolta costituiti da adeguate canalizzazioni e pozzetti di ispezione con valvole di non ritorno ed un sistema di smaltimento dei rifiuti liquidi concorde con la normativa vigente.

Art. II: REDAZIONE DEL PROGETTO

Fatta salva l'applicazione di norme che impongono una progettazione degli impianti, la redazione del progetto, di cui all'art. 6 della legge 46/90 è obbligatoria per l'installazione, la trasformazione e l'ampliamento dei seguenti impianti:

- a) per gli impianti di cui all'art. 1, comma 1, lettera c) della legge 46/90, per le canne fumarie collettive ramificate, nonché per gli impianti di climatizzazione per tutte le utilizzazioni aventi una potenzialità frigorifera pari o superiore a 40.000 frigoriferi/ora;
- b) per gli impianti di cui all'art. 1, comma 1, lettera e) della legge 46/90, per il trasporto e l'utilizzazione di gas combustibili con portata termica superiore a 34,8 kW o di gas medicali per uso ospedaliero e simili, nel caso di stoccaggi;
- c) per gli impianti di cui all'art. 1, comma 1, lettera g) della legge 46/90, qualora siano inseriti in un'attività soggetta al rilascio del certificato prevenzione incendi e comunque quando gli idranti sono in numero pari o superiore a 4 o gli apparecchi di rilevamento sono in numero pari o superiore a 10.

I progetti devono essere redatti da professionisti, iscritti negli albi professionali, nell'ambito delle rispettive

competenze.

I progetti debbono contenere gli schemi dell'impianto e i disegni planimetrici, nonché una relazione tecnica sulla consistenza e sulla tipologia dell'installazione, della trasformazione o dell'ampliamento dell'impianto stesso, con particolare riguardo all'individuazione dei materiali e componenti da utilizzare e alle misure di prevenzione e di sicurezza da adottare. Si considerano redatti secondo la buona tecnica professionale i progetti elaborati in conformità alle indicazioni delle guide dell'Ente italiano di unificazione (UNI).

Qualora l'impianto a base di progetto sia variato in opera, il progetto presentato deve essere integrato con la necessaria documentazione tecnica attestante tali varianti in corso d'opera, alle quali, oltre che al progetto, l'installatore deve fare riferimento nella sua dichiarazione di conformità.

La redazione del progetto per l'installazione, la trasformazione e l'ampliamento degli impianti di cui al comma 1 del presente articolo è obbligatoria al di sopra dei limiti dimensionali indicati nel regolamento di attuazione di cui all'articolo 15 della legge 46/90.

Sono soggetti all'obbligo di depositare presso le autorità comunali il progetto corredato della relazione tecnica, da redigere secondo le modalità previste dal successivo paragrafo, tutti i committenti di impianti termici costituiti almeno da: generatori di calore, rete di distribuzione e apparecchi di utilizzazione, per gli impianti ad acqua od a fluido diatermico; generatore di aria calda o generatore di acqua calda con termoventilatore e circuiti di distribuzione, per gli impianti ad aria.

Il progetto è depositato:

a) presso gli organi competenti al rilascio di licenze di impianto o di autorizzazioni alla costruzione quando previsto dalle disposizioni legislative e regolamentari vigenti;

b) presso gli uffici comunali, contestualmente al progetto edilizio, per gli impianti il cui progetto non sia soggetto per legge ad approvazione.

Il Comune, all'atto del ricevimento del progetto, rilascia attestazione dell'avvenuto deposito, convalidando copia della documentazione che rimane al proprietario o possessore dell'impianto, il quale deve esibirla in sede di collaudo o di controllo.

Relazione tecnica inerente l'impianto termico

La relazione tecnica da presentare alle autorità comunali deve contenere i seguenti dati: categoria dell'edificio (art. 3 del D.P.R. n. 1052/77); volume V espresso in m^3 , definito come nel decreto; coefficiente volumico C_g espresso in $kcal/h \text{ } ^\circ C \text{ } m^3$ oppure in $W/^\circ C \text{ } m^3$: valore consentito dalla legge e valore effettivo di progetto, calcolato quest'ultimo come indicato al successivo art. 21 del D.P.R. n. 1052/77; potenza termica massima consentita, ricavata dal prodotto $C_g V (SP[t])$, essendo $SP[t]$ espresso in $^\circ C$, definito all'art. 21 del D.P.R. n. 1052/77; potenza termica del generatore, resa al fluido vettore ed espressa in $kcal/h$ oppure in W ; componenti della centrale termica soggetti ad omologazione della ex A.N.C.C., ora ISPESEL; descrizione del sistema automatico di regolazione e relative curve di funzionamento; schema della rete di distribuzione, completa dei diametri delle tubazioni e delle sezioni dei canali calcolati e delle caratteristiche delle pompe e dei ventilatori; indicazione di un tronchetto flangiato per l'eventuale inserzione di un contatore d'acqua o di una flangia tarata per la misura della portata complessiva che attraversa il od i generatori di calore; indicazione della coibentazione della rete di distribuzione per il riscaldamento degli ambienti e per i servizi igienici e sanitari (tipo e spessore della coibentazione); fabbisogno termico per singolo ambiente, espresso in $kcal/h$ oppure in W ; indicazione dei componenti dell'impianto di utilizzazione, che devono risultare omologati dall'A.N.C.C.; elencazione e descrizione delle caratteristiche dei locali con particolari esigenze termiche e quindi passibili di deroga rispetto alla temperatura limite di $20^\circ C$; giustificazione della potenza termica necessaria per la produzione dell'acqua calda per usi igienici e sanitari; rapporto tra il consumo previsto di combustibile ed il volume V . Nel caso di sostituzione o di modifica di impianti esistenti, la relazione tecnica deve contenere la valutazione del consumo di combustibile solo per gli impianti di potenza termica al focolare superiore a $100.000 \text{ } kcal/h$ ($116.000 \text{ } W$).

Art. III: INSTALLAZIONE DEGLI IMPIANTI

Le imprese installatrici sono tenute ad eseguire gli impianti a regola d'arte utilizzando allo scopo materiali parimenti costruiti a regola d'arte. I materiali ed i componenti realizzati secondo le norme tecniche di sicurezza dell'Ente italiano di unificazione (UNI) nonché nel rispetto di quanto prescritto dalla legislazione tecnica vigente in materia, si considerano costruiti a regola d'arte.

Tutti gli impianti realizzati alla data di entrata in vigore della legge 46/90 devono essere adeguati, entro

tre anni da tale data. I materiali e componenti gli impianti costruiti secondo le norme tecniche per la salvaguardia della sicurezza dell'UNI, nonché nel rispetto della legislazione tecnica vigente in materia di sicurezza, si considerano costruiti a regola d'arte.

Nel caso in cui per i materiali e i componenti gli impianti non siano state seguite le norme tecniche per la salvaguardia della sicurezza dell'UNI, l'installatore dovrà indicare nella dichiarazione di conformità la norma di buona tecnica adottata. In tale ipotesi si considerano a regola d'arte i materiali, componenti ed impianti per il cui uso o la cui realizzazione siano state rispettate le normative emanate dagli organismi di normalizzazione di cui all'allegato II della direttiva n. 83/189/CEE, se dette norme garantiscono un livello di sicurezza equivalente.

Con riferimento alle attività produttive, si applica l'elenco delle norme generali di sicurezza riportate nell'art. 1 del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 31 marzo 1989, pubblicato nel supplemento ordinario alla *Gazzetta Ufficiale* n. 93 del 21 aprile 1989.

Per l'adeguamento degli impianti già realizzati alla data di entrata in vigore della legge 46/90 è consentita una suddivisione dei lavori in fasi operative purché l'adeguamento complessivo avvenga comunque nel triennio previsto dalla legge, vengano rispettati i principi di progettazione obbligatoria con riferimento alla globalità dei lavori e venga rilasciata per ciascuna fase la dichiarazione di conformità che ne attesti l'autonoma funzionalità e la sicurezza.

Art. IV: MANUTENZIONE DEGLI IMPIANTI

Gli impianti con potenza termica al focolare superiore a 50.000 kcal/h (58.000 W) devono essere muniti di un "libretto di centrale" (allegato 2 del D.P.R. n. 1052/77), nel quale devono essere registrate le operazioni di manutenzione e di controllo.

Per gli impianti esistenti la compilazione iniziale del libretto è effettuata dall'installatore, dal proprietario o dal conduttore dell'impianto. Per gli impianti nuovi il libretto è compilato inizialmente dal progettista. Gli elementi da sottoporre a verifica durante la manutenzione sono i seguenti: rendimento di combustione; stato delle coibentazioni accessibili; stato e taratura delle regolazioni e delle apparecchiature di controllo. Il rendimento di combustione è valutato con una prova termica da eseguirsi secondo le modalità indicate nell'allegato 3 del D.P.R. n. 1052/77. Il rendimento di combustione deve risultare: a) per gli impianti esistenti: non inferiore di oltre 15 unità percentuali rispetto ai valori di rendimento indicati dal Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato; b) per gli impianti installati dopo l'entrata in vigore del decreto n. 1052/77: non inferiore di oltre 5 unità percentuali rispetto al valore in sede di omologazione.

Il controllo dell'avvenuta manutenzione deve essere effettuato almeno ogni tre anni, a cura degli enti locali che potranno anche avvalersi di altri organismi aventi specifica competenza tecnica. L'esecuzione della manutenzione dell'impianto, secondo le disposizioni del regolamento, è a cura del proprietario dell'immobile o, nel caso di condominio, dell'amministratore dello stesso. Il proprietario deve conservare, insieme al libretto di centrale, i libretti d'uso e manutenzione forniti dai costruttori dei vari componenti dell'impianto.

Art. V: REGOLE TECNICHE DI PREVENZIONE INCENDI (D.M. Interno 19/8/96 All. 12)

Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo. Impianti di produzione calore: gli impianti di produzione di calore funzionanti a combustibile solido, liquido e gassoso dovranno essere realizzati nel rispetto delle specifiche normative di prevenzione incendi. Impianti di condizionamento e ventilazione: gli impianti di condizionamento e ventilazione devono essere progettati e realizzati nell'osservanza dei seguenti criteri:

a) Impianti centralizzati - Le unità di trattamento dell'aria e i gruppi frigoriferi non possono essere installati nei locali ove sono ubicati impianti di produzione calore. I gruppi frigoriferi devono essere installati in appositi locali, realizzati con strutture di separazione di caratteristiche di resistenza al fuoco non inferiori a REI 60, aventi accesso direttamente dall'esterno o tramite disimpegno aerato di analoghe caratteristiche, munito di porte REI 60 dotate di dispositivo di autochiusura. L'aerazione nei locali dove sono installati i gruppi frigoriferi non deve essere inferiore a quella indicata dal costruttore dei gruppi stessi, con una superficie minima non inferiore a 1/20 della superficie in pianta del locale. Nei gruppi frigoriferi devono essere utilizzati come fluidi frigoriferi prodotti non infiammabili e non tossici. I gruppi refrigeratori che utilizzano soluzioni acquose di ammoniaca possono essere installati solo all'esterno dei fabbricati o in locali aventi caratteristiche analoghe a quelli delle centrali termiche alimentate a gas. Le centrali frigorifere destinate a contenere gruppi termorefrigeratori ad assorbimento a fiamma diretta devono rispettare le disposizioni di prevenzione incendi in vigore per gli impianti di produzione calore, riferiti al tipo di combustibile impiegato. Non è consentito

utilizzare aria di ricircolo proveniente da cucine, autorimesse e comunque da spazi a rischio specifico.

b) Condotte - Le condotte devono essere realizzate in materiale di classe 0 di reazione al fuoco; le tubazioni flessibili di raccordo devono essere di classe di reazione al fuoco non superiore a 2. Le condotte non devono attraversare: luoghi sicuri, che non siano a cielo libero; vani scala e vani ascensore; locali che presentino pericolo di incendio, di esplosione e di scoppio. L'attraversamento dei soprarichiamati locali può tuttavia essere ammesso se le condotte sono racchiuse in strutture resistenti al fuoco di classe almeno pari a quella del vano attraversato.

Qualora le condotte attraversino strutture che delimitano i compartimenti, nelle condotte deve essere installata, in corrispondenza degli attraversamenti, almeno una serranda avente resistenza al fuoco pari a quella della struttura che attraversano, azionata automaticamente e direttamente da rivelatori di fumo. Negli attraversamenti di pareti e solai, lo spazio attorno alle condotte deve essere sigillato con materiale di classe 0, senza tuttavia ostacolare le dilatazioni delle stesse.

c) Dispositivi di controllo - Ogni impianto deve essere dotato di un dispositivo di comando manuale, situato in un punto facilmente accessibile, per l'arresto dei ventilatori in caso d'incendio. Inoltre, gli impianti a ricircolo d'aria, a servizio di più compartimenti, devono essere muniti, all'interno delle condotte, di rivelatori di fumo che comandino automaticamente l'arresto dei ventilatori e la chiusura delle serrande tagliafuoco. L'intervento dei rivelatori deve essere segnalato nella centrale di controllo degli impianti di rivelazione e segnalazione automatica degli incendi. L'intervento dei dispositivi, sia manuali che automatici, non deve consentire la rimessa in marcia dei ventilatori senza l'intervento manuale dell'operatore.

d) Impianti localizzati - È consentito il condizionamento dell'aria a mezzo di armadi condizionatori, purché il fluido refrigerante non sia infiammabile né tossico. È comunque escluso l'impiego di apparecchiature a fiamma libera.

Art. VI: UTILIZZO DI FONTI ENERGETICHE ALTERNATIVE (L. n. 457/78 art. 56 modificato dall'art. 5 D.L. n. 9/82

Nella concessione di contributi pubblici per la costruzione di edifici residenziali sarà data la preferenza agli interventi che prevedono l'installazione di impianti di riscaldamento e di produzione di acqua calda alimentati da fonti energetiche non tradizionali. Per i predetti interventi il Comitato per l'edilizia residenziale può stabilire una elevazione del limite massimo dei costi ammissibili di cui alla lettera n) art. 3 della legge 457/78. Ai fini dell'elevazione del limite massimo di costo di cui al comma precedente, si considerano anche gli impianti che siano soltanto parzialmente alimentati da fonti energetiche non tradizionali, secondo le modalità precisate con deliberazione del CER. Entro sei mesi dalla data di entrata in vigore della legge 457/78, il Comitato per l'edilizia residenziale provvederà a formare un elenco, da aggiornare ogni biennio, delle fonti energetiche da considerarsi non tradizionali ai fini dell'applicazione del precedente comma, con l'osservanza delle norme contro l'inquinamento.

Art. VII: NORME PER IL CONTENIMENTO DEL CONSUMO DI ENERGIA (Legge 10/91)

Ambito di applicazione (art. 25 legge 10/91)

Sono regolati dalla legge 10/91 i consumi di energia negli edifici pubblici e privati, qualunque ne sia la destinazione d'uso, nonché, mediante il disposto dell'articolo 31 della legge 10/91, l'esercizio e la manutenzione degli impianti esistenti. Nei casi di recupero del patrimonio edilizio esistente, l'applicazione del presente titolo è graduata in relazione al tipo di intervento, secondo la tipologia individuata dall'articolo 31 della legge 5 agosto 1978, n. 457.

Progettazione, messa in opera ed esercizio di edifici e di impianti (art. 26 legge 10/91)

Ai nuovi impianti, lavori, opere, modifiche, installazioni, relativi alle fonti rinnovabili di energia, alla conservazione, al risparmio e all'uso razionale dell'energia, si applicano le disposizioni di cui all'articolo 9 della legge 28 gennaio 1977, n. 10, nel rispetto delle norme urbanistiche, di tutela artistico-storica e ambientale. Gli interventi di utilizzo delle fonti di energia di cui all'articolo 1 della legge 10/91 in edifici ed impianti industriali non sono soggetti ad autorizzazione specifica e sono assimilati a tutti gli effetti alla manutenzione straordinaria di cui agli articoli 31 e 48 della legge 5 agosto 1978, n. 457. L'installazione di impianti solari e di pompe di calore da parte di installatori qualificati, destinati unicamente alla produzione di acqua calda e di aria negli edifici esistenti e negli spazi liberi privati annessi, è considerata estensione dell'impianto idrico-sanitario già in opera. Gli edifici pubblici e privati, qualunque ne sia la destinazione d'uso, e gli impianti non di processo ad essi associati devono essere progettati e messi in opera in modo tale da contenere al massimo, in relazione al progresso della tecnica, i consumi di energia termica. Gli impianti di riscaldamento al servizio di edifici di

nuova costruzione, la cui concessione edilizia sia rilasciata dopo la data di entrata in vigore della legge 10/91, devono essere progettati e realizzati in modo tale da consentire l'adozione di sistemi di termoregolazione e di contabilizzazione del calore per ogni singola unità immobiliare.

Negli edifici di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico è fatto obbligo di soddisfare il fabbisogno energetico degli stessi favorendo il ricorso a fonti rinnovabili di energia o assimilate salvo impedimenti di natura tecnica od economica. La progettazione di nuovi edifici pubblici deve prevedere la realizzazione di ogni impianto, opera ed installazione utili alla conservazione, al risparmio e all'uso razionale dell'energia.

Relazione tecnica sul rispetto delle prescrizioni (art. 28 legge 10/91)

Il proprietario dell'edificio, o chi ne ha titolo, deve depositare in Comune, in doppia copia insieme alla denuncia dell'inizio dei lavori relativi alle opere di cui agli articoli 25 e 26 della legge 10/91, il progetto delle opere stesse corredate da una relazione tecnica, sottoscritta dal progettista o dai progettisti, che ne attesti la rispondenza alle prescrizioni della presente legge. Nel caso in cui la denuncia e la documentazione di cui al comma 1 non sono state presentate al Comune prima dell'inizio dei lavori, il sindaco, fatta salva la sanzione amministrativa di cui all'articolo 34 della legge 10/91, ordina la sospensione dei lavori sino al compimento del suddetto adempimento.

La documentazione di cui al comma 1 deve essere compilata secondo le modalità stabilite con proprio decreto dal Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato.

Una copia della documentazione di cui al comma 1 è conservata dal Comune ai fini dei controlli e delle verifiche di cui all'articolo 33 della legge 10/91.

La seconda copia della documentazione, restituita dal Comune con l'attestazione dell'avvenuto deposito, deve essere consegnata a cura del proprietario dell'edificio, o di chi ne ha titolo, al Direttore dei Lavori ovvero, nel caso l'esistenza di questi non sia prevista dalla legislazione vigente, all'esecutore dei lavori. Il direttore ovvero l'esecutore dei lavori sono responsabili della conservazione di tale documentazione in cantiere.

Controlli e verifiche (art. 33 legge 10/91)

Il Comune procede al controllo dell'osservanza delle norme della legge 10/91 in relazione al progetto delle opere, in corso d'opera ovvero entro cinque anni dalla data di fine lavori dichiarata dal Committente. La verifica può essere effettuata in qualunque momento anche su richiesta e a spese del Committente, dell'acquirente dell'immobile, del conduttore, ovvero dell'esercente gli impianti. In caso di accertamento di difformità in corso d'opera, il sindaco ordina la sospensione dei lavori. In caso di accertamento di difformità su opere terminate il sindaco ordina, a carico del proprietario, le modifiche necessarie per adeguare l'edificio alle caratteristiche previste dalla legge 10/91. Nei casi previsti dai commi 3 e 4 della stessa legge, il sindaco informa il prefetto per la irrogazione delle sanzioni di cui al paragrafo successivo

Sanzioni (art. 34 legge 10/91)

L'inosservanza dell'obbligo di presentazione della documentazione tecnica completa e degli obblighi conseguenti è punita con la sanzione amministrativa non inferiore a lire un milione e non superiore a lire cinque milioni. Il proprietario dell'edificio nel quale sono eseguite opere difformi dalla documentazione depositata e che non osserva le disposizioni prescritte dall'art. 27 della legge 10/91 è punito con la sanzione amministrativa in misura non inferiore al 5 per cento e non superiore al 25 per cento del valore delle opere. L'installatore e il Direttore dei Lavori che omettono la certificazione di cui all'articolo 29 della legge 10/91, ovvero che rilasciano una certificazione non veritiera nonché il progettista che rilascia la relazione tecnica non veritiera, sono puniti in solido con la sanzione amministrativa non inferiore all'1 per cento e non superiore al 5 per cento del valore delle opere, fatti salvi i casi di responsabilità penale. Il collaudatore che non ottempera a quanto stabilito dall'articolo 29 della legge 10/91 è punito con la sanzione amministrativa pari al 50 per cento della parcella calcolata secondo la vigente tariffa professionale.

Il proprietario o l'amministratore del condominio, o l'eventuale terzo che se ne è assunta la responsabilità, che non ottempera a quanto stabilito dall'articolo 31, commi 1 e 2 della legge 10/91, è punito con la sanzione amministrativa non inferiore a lire un milione e non superiore a lire cinque milioni. Nel caso in cui venga sottoscritto un contratto nullo ai sensi del comma 4 del medesimo articolo 31 della legge 10/91, le parti sono punite ognuna con la sanzione amministrativa pari a un terzo dell'importo del contratto sottoscritto, fatta salva la nullità dello stesso. L'inosservanza delle prescrizioni di cui all'articolo 32 della legge 10/91 è punita con la sanzione amministrativa non inferiore a lire cinque milioni e non superiore a lire cinquanta milioni, fatti salvi i casi di responsabilità penale. Qualora soggetto della sanzione amministrativa sia un professionista, l'autorità che applica la sanzione deve darne comunicazione all'ordine professionale di appartenenza per i

provvedimenti disciplinari conseguenti. L'inosservanza della disposizione che impone la nomina, ai sensi dell'articolo 19 della legge 10/91, del tecnico responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia, è punita con la sanzione amministrativa non inferiore a lire dieci milioni e non superiore a lire cento milioni.

Provvedimenti di sospensione dei lavori

Il sindaco, con il provvedimento mediante il quale ordina la sospensione dei lavori, ovvero le modifiche necessarie per l'adeguamento dell'edificio, deve fissare il termine per la regolarizzazione. L'inosservanza del termine comporta la comunicazione al prefetto, l'ulteriore irrogazione della sanzione amministrativa e l'esecuzione forzata delle opere con spese a carico del proprietario.

L'esame attento di quanto sopra riportato unitamente ad una corretta progettazione dell'opera può essere indispensabile per la stesura di un buon CSA.

10.13.3 PROCEDURE PER IL COLLAUDO

Le procedure sono numerose e quasi tutte a valle dell'esecuzione dei lavori (in alcuni casi si ha necessità di operare un collaudo in corso d'opera, come ad esempio per il collaudo della tenuta idraulica delle tubazioni, prove a fuoco, ...). In genere si possono sintetizzare le seguenti fasi:

- *Operazioni precedenti le attività in campo: acquisizione dei documenti riguardanti il progetto, l'offerta dell'installatore o dell'impresa, il contratto (o i contratti nel caso di più imprese), le certificazioni dei componenti, le dichiarazioni di conformità rilasciate dall'installatore ai sensi della L. 10/91 e L. 46/90, i manuali delle case costruttrici per i componenti più sensibili, richiedere l'equilibratura delle reti, i capitolati speciali di appalto e, se previste, le norme per l'esecuzione del collaudo;*
- *Verifica e quantitativa delle opere: mediante visita in cantiere, presenti l'impresa installatrice, il committente e la direzione lavori, controllare, avendo in mano i progetti esecutivi aggiornati, l'ubicazione dell'impianto, la scelta dei materiali, la presenza di vie di fuga e di mezzi di estinzione degli incendi (vedi CSA sopra riportato), la presenza di vie di ventilazione, la rispondenza degli impianti alle norme CEI, alla L. 46/90 per le protezioni di terra, l'esistenza di dispositivi di controllo e di sicurezza, gli scarichi dei liquidi oleosi, dei separatori d'olio, degli scarichi delle acque di impianto, dell'assenza di pozzetti a perdere in centrale termica, verifica dell'inquinamento acustico ai sensi del D.P.C.M. 14/11/97 e D.M. 5/3/98, la presenza di tutti i componenti di centrale, lo spessore degli isolamenti termici. E' opportuno verificare tutte le voci di computo metrico e predisporre una tabella comparativa.*
- *Prove preliminari: prima del collaudo vero e proprio occorre controllare i circuiti, le dilatazioni termiche, verificare le tenute, mettere in funzione la caldaia per un periodo sufficiente al raggiungimento del regime stazionario;*
- *Prove di collaudo definitivo: controllo del funzionamento della centrale termica con la verifica ai valori di progetto eventualmente con le correzioni previste per condizioni esterne diverse da quelle di riferimento, controllo delle temperature dei singoli ambienti (prelevate a 1,5 m dal pavimento. Si ricordi che se la temperatura interna non è conforme a quella indicata in contratto o prevista dalle norme il collaudo può proseguire solo a discrezione del Collaudatore), controllo delle umidità relative (se ci riferisce ad un impianto di climatizzazione), controllo della sicurezza dell'impianto e di tutti i suoi organi, controllo delle norme di risparmio energetico (in particolare della presenza del tronchetto flangiato per la verifica della portata totale del fluido primario e quindi per la verifica della potenzialità effettiva del generatore);*
- *Stesura della relazione di collaudo: in essa debbono essere riportati tutti i dati necessari alla completezza del collaudo, di tutte le osservazioni inerenti la rispondenza delle opere al progetto esecutivo depositato, alla congruenza dei materiali, alla congruenza delle misurazioni e di ogni altra operazione di collaudo con i valori limiti progettuali.*

In questa sede ci si sta riferendo al collaudo tecnico.

11. COMPONENTI PRINCIPALI DI IMPIANTO*

11.1 COME E' FATTO UN IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

Gli impianti di climatizzazione possono essere di tipo diverso a seconda della destinazione d'uso degli edifici, del fluido termovettore utilizzato, dal costo e quindi dalla qualità che si desidera avere.

Ogni impianto di riscaldamento o di raffrescamento è composto di tre sezioni fondamentali (qui si trascura la sezione di controllo che sarà affrontata in un capitolo successivo:

Sezione di produzione dell'energia $\Rightarrow$ *Sezione di trasporto dell'energia* $\Rightarrow$ *Sezione di scambio*

Ciascuna di esse ha caratteristiche costruttive e progettuali proprie. In ogni caso è da tenere presente che l'obiettivo finale di riscaldare o raffrescare gli ambienti si raggiunge solamente se tutte e tre le sezioni sono congruenti e correttamente progettate. Non basta, ad esempio, produrre in caldaia l'energia necessaria per il riscaldamento ma occorre anche trasportare tutta l'energia prodotta a destinazione e fare in modo che i terminali, ad esempio i radiatori, la cedano agli ambienti. Se si sottodimensiona una di queste sezioni tutto l'impianto funzionerà male o non funzionerà affatto. E non si deve pensare che il *sovradimensionare* le sezioni sia un bene, in genere si ottiene un decadimento della funzionalità complessiva soprattutto se il *punto di lavoro* effettivo è molto al di sotto delle singole potenzialità. Avviene, infatti, che il rendimento dei componenti (*pompe, regolazione, generatori, terminali, ...*) non sia ottimale per tutto un grande intervallo bensì in un *range* ristretto⁵⁴ e pertanto il sovradimensionamento porta spesso al malfunzionamento dell'impianto nella sua globalità.

In linea di massima possiamo qui classificare gli impianti secondo tre caratteristiche:

- *Tipo di generatore di calore utilizzato: a gasolio, a gas, elettrico;*
- *Tipo di fluidi termovettore utilizzato: ad acqua, ad aria, misto.*

⁵⁴ Ad esempio per una pompa il *punto di lavoro* dipende, come si osserva nel volume 3° per il dimensionamento delle reti tecnologiche, dalla portata di fluido e dalle perdite totali agli attacchi della stessa ed è dato dall'intersezione della curva caratteristica della pompa con la curva delle perdite totali, entrambe di tipo quadratico ma a concavità. Se la rete di distribuzione è sovradimensionata si hanno minori perdite e ciò provoca lo spostamento del *punto di lavoro* verso il basso della curva caratteristica della pompa e quindi in una zona dove il rendimento della stessa scende al di sotto dei valori usuali ($\eta > 0.8$). Lo stesso accade se si sceglie una pompa di circolazione molto più potente rispetto alle necessità della rete di distribuzione: la curva caratteristica della pompa si innalza mentre la parabola dei carichi resta bassa e il *punto di lavoro* risulta basso, ancora con rendimento inferiore a 0.8. Ragionamento simile a quello fatto per le pompe si può fare per i generatori di calore: scegliere una caldaia molto più potente di quella necessaria significa avere regimi di funzionamento ridotti con alternanze frequenti di accensione e spegnimento del bruciatore. Il rendimento di combustione comunque scende al di sotto di quello nominale (*cioè corrispondenza alla piena potenzialità della caldaia*) con grave pregiudizio per il funzionamento globale dell'impianto. A questo proposito si osserva che la L. 10/91 prescrive anche un rendimento limite delle caldaie per il funzionamento a potenza ridotta. I terminali (*ad esempio i radiatori*) sono progettati per funzionare al meglio nelle condizioni nominali di progetto per cui sovradimensionare i radiatori porta ad avere una minore temperatura superficiale degli stessi e quindi una resa termica inferiore a quella nominale.

- *Tipo di terminali utilizzati: radiatori, termoconvettori, pannelli radianti.*

Seguiranno alcune brevi note descrittive, soprattutto di tipo qualitativo visto che dobbiamo solo selezionare i componenti, sulle tipologie impiantistiche, sulle problematiche d'uso, di gestione e di installazione. I criteri progettuali saranno ora brevemente discussi.

Lo sviluppo dell'impiantistica in questi ultimi anni ha avuto un'impennata con l'introduzione di nuovi componenti e nuove tipologie di impianti. Dato lo scopo del presente corso si darà enfasi all'impiantistica classica, consolidata da decenni di applicazioni. Si invitano gli Allievi a cercare altri approfondimenti nei manuali specializzati.

11.2 GENERATORI TERMICI

In base alla precedente classificazione la scelta del tipo di generatore è fondamentale per l'impianto di riscaldamento sia perché sono questi dispositivi a fornire energia agli impianti di riscaldamento sia perché il loro funzionamento (*e in particolare il loro rendimento*) è oggi fortemente regolato dalla L. 10/91 e dai suoi regolamenti di attuazione DPR 412/93 e DPR 551/99 sia perché oggi siamo in condizioni di costruire caldaie con caratteristiche tecnologiche impensabili già venti anni fa.

Possiamo classificare le moderne caldaie in funzione del loro funzionamento:

- *caldaie a modulazione di fiamma*
- *caldaia a temperatura scorrevole*
- *caldaia a condensazione*
- *caldaia a più passaggi di fumi*

In tutti i casi sono esclusi i combustibili solidi e in qualche caso anche i liquidi. Vediamo brevemente il loro funzionamento.

11.2.1 CALDAIE A MODULAZIONE DI FIAMMA

Il funzionamento di una caldaia è dettato dal funzionamento del suo bruciatore, vedi Figura 206. Esso può essere di vari tipi in funzione del combustibile utilizzato (*gasolio, olio combustibile, gas, ...*) e del regime di funzionamento e regolazione della fiamma.

In queste caldaie (*alimentate sia con combustibili liquidi che con gas*) si agisce sul bruciatore modulandone la potenza in vari modi:

- *Modulazione in regime monostadio di tipo on – off: si tratta del tipo più semplice e la modulazione del bruciatore non avviene per variazione della sua potenza ma con semplice spegnimento quando viene raggiunta la temperatura massima dell'acqua e con l'accensione quando questa scende sotto il valore minimo prefissato.*
- *Regime bistadio 50 ÷ 100%: il bruciatore può funzionare a due regimi a seconda del valore della temperatura dell'acqua in caldaia. Quando si chiede la massima potenza si ha il 100% del funzionamento mentre per regimi attenuati si ha un funzionamento al 50%.*
- *Regime modulante fra 50 ÷ 100%: in questo caso la potenza del bruciatore varia con continuità fra il 50% e il 100% della potenza massima. In questo modo si ha la massima efficienza e si riducono fortemente gli sprechi energetici.*

11.2.2 CALDAIE A CONDENSAZIONE

L'utilizzo di combustibili gassosi a basso tenore di zolfo consente di costruire caldaie a *condensazione* nelle quali si recupera il calore latente del vapore acqueo contenuto nei fumi. Il punto di rugiada dei fumi del metano in funzione dell'eccesso d'aria varia secondo quanto indicato in Figura 177. Queste caldaie consentono di abbassare la temperatura dei fumi fino a 50 ÷ 70 °C recuperando il calore latente di condensazione dell'acqua. Il rendimento di queste caldaie riferito al

potere calorifico inferiore del combustibile risulta $> 100\%$ (com'è ovvio non tenendosi conto del calore latente di condensazione nel p.c.i.) mentre risulta $< 100\%$ se riferito al potere calorifico superiore.

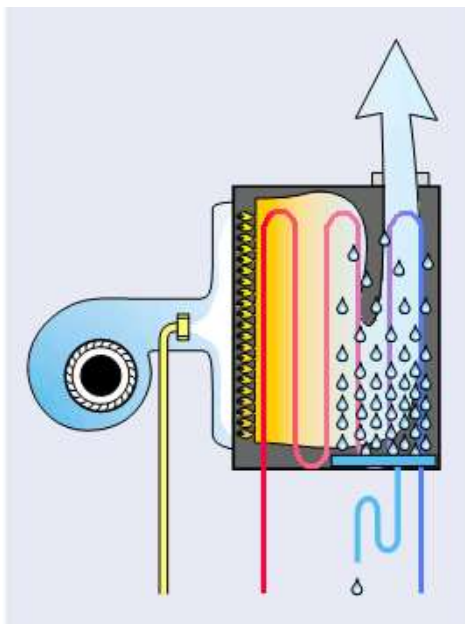


Figura 174: Schema di principio di una caldaia a condensazione

Per condensare il vapore dei fumi, le caldaie a condensazione sfruttano la temperatura dell'acqua di ritorno dall'impianto termico, più fredda rispetto alla temperatura dell'acqua di mandata. I fumi vengono fatti passare in uno speciale scambiatore - condensatore che permette di sottrarre, tramite condensazione, il calore latente del vapore acqueo.

In questo modo la temperatura dei fumi in uscita si mantiene allo stesso valore della temperatura di mandata, ben inferiore ai $140/160\text{ }^{\circ}\text{C}$ dei generatori tradizionali ad alto rendimento. Le caldaie a condensazione sono sempre dotate di ventilatore di estrazione dei fumi (tiraggio meccanico) per potere:

- Vincere le resistenze fluidodinamiche create dal condensatore;
- Migliorare lo scambio termico convettivo (si ha convezione forzata) fra fumi e acqua;
- Minimizzare l'eccesso di aria e le perdite di calore sensibile nella combustione;
- Massimizzare il rendimento.

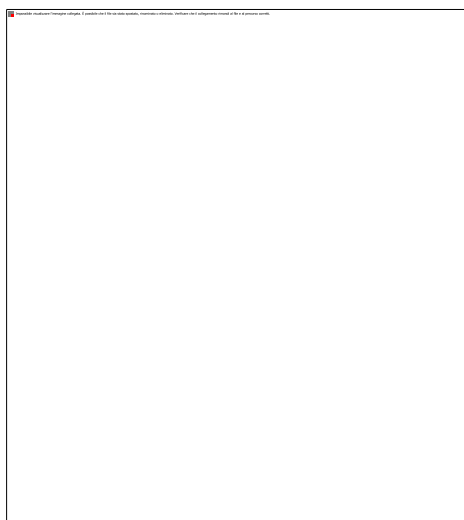


Figura 175: Schema di una caldaia a condensazione

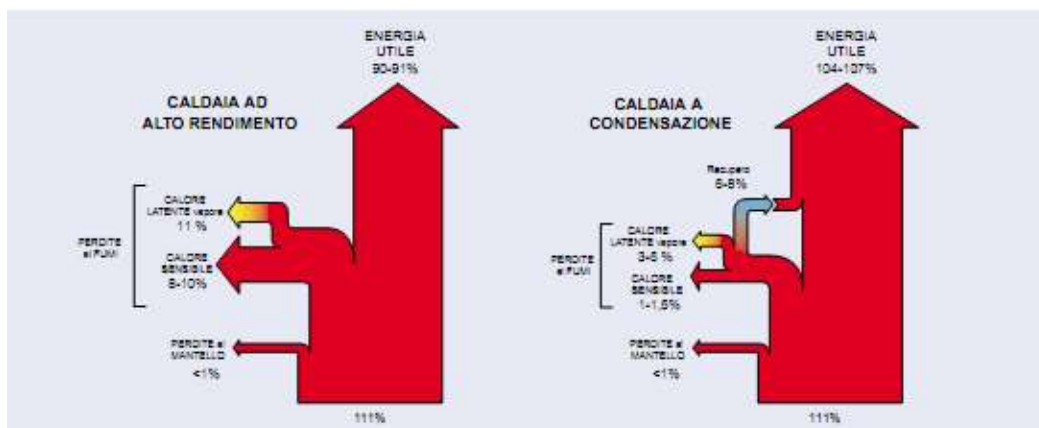


Figura 176: Confronto delle perdite di energia fra differenti tipi di generatori

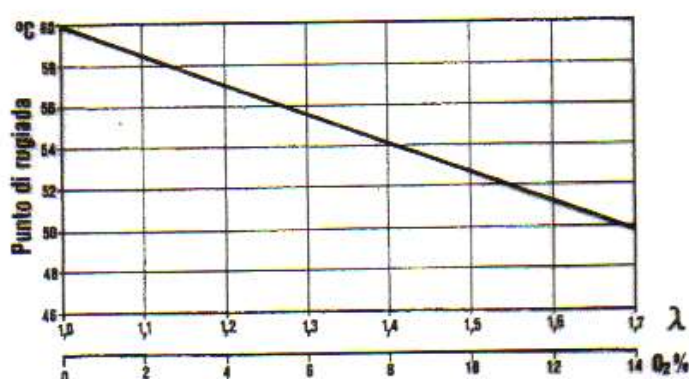


Figura 177: Punto di rugiada dei fumi di metano

Nelle caldaie tradizionali i gas combusti vengono normalmente espulsi ad una temperatura di circa 110°C e sono in parte costituiti da vapore acqueo. Nella caldaia a condensazione, i prodotti della combustione, prima di essere espulsi all'esterno, sono costretti ad attraversare uno speciale scambiatore all'interno del quale il vapore acqueo condensa, cedendo parte del calore latente di condensazione all'acqua del primario. In tal modo, i gas di scarico fuoriescono ad una temperatura di circa 40°C.

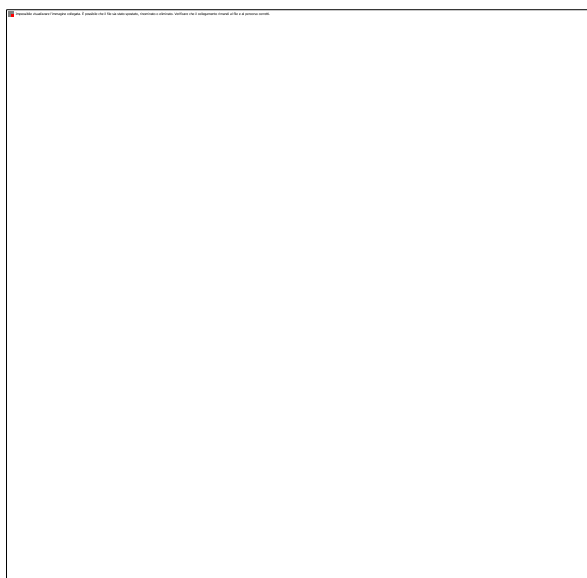


Figura 178: Spaccato di una caldaia a condensazione

La caldaia a condensazione, a parità di energia fornita, consuma meno combustibile rispetto ad una di tipo tradizionale. Infatti, la quota di energia recuperabile tramite la condensazione del vapore acqueo contenuto nei gas di scarico è dell'ordine del 16-17%.

Le caldaie a condensazione esprimono il massimo delle prestazioni quando vengono utilizzate con impianti che funzionano a bassa temperatura (30-50°C), come ad esempio con impianti a pannelli radianti. Il D.Lgs. 192/05 e il DPR 59/09 indicano una temperatura dell'acqua di uscita dal generatore termico non superiore a 70 °C nel caso di sostituzione del generatore esistente. Tale valore di temperatura è compatibile solo con la tipologia di caldaia a condensazione e non con le altre tipologie presenti sul mercato.

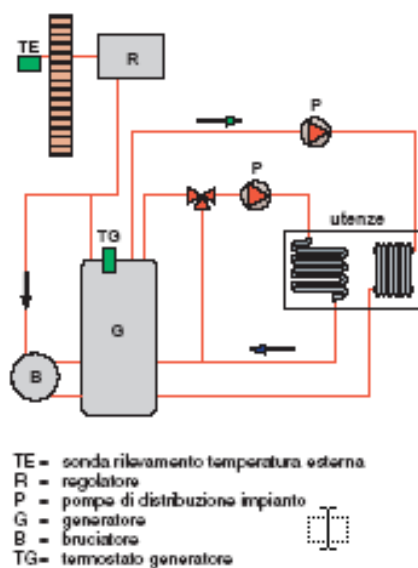


Figura 179: Schema logico di una caldaia a condensazione

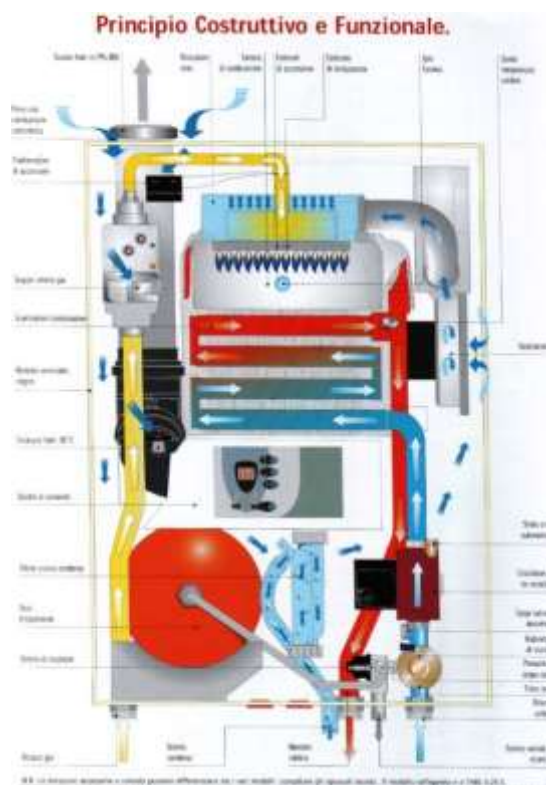


Figura 180: Schema di funzionamento della caldaia a condensazione

11.2.3 CALDAIE A TEMPERATURA SCORREVOLE

Le caldaie a temperatura scorrevole, sono caratterizzate da una temperatura variabile del bruciatore, proporzionale alla temperatura di mandata, che è in funzione del carico dell'impianto e del carico climatico. In tal modo le perdite passive si riducono proporzionalmente alla temperatura di mandata e aumentano l'efficienza e il rendimento stagionale; da una parte c'è la variazione di temperatura all'interno della caldaia in modo da produrre il calore richiesto e non in eccesso, dall'altra parte si lavora con basse temperature di esercizio, e ciò porta alla diminuzione delle perdite termiche verso l'ambiente all'involucro esterno e dal camino a bruciatore spento.

Un gruppo termico a temperatura scorrevole può funzionare con temperature di mandata fino a 30°C, dispone di un bruciatore multistadio con regolazione automatica e continua dell'aria e combustibile. La temperatura di mandata è asservita al misuratore della temperatura esterna, che tramite una logica, controlla il funzionamento del bruciatore.

I gruppi termici a temperatura scorrevole, devono adottare opportune soluzioni impiantistiche per mantenere contemporaneamente l'acqua a bassa temperatura e i fumi a temperatura superiore di quella di rugiada.

Soprattutto per usi civili, sono apparse sul mercato caldaie *a fiamma scorrevole* nelle quali la camera di combustione è di tipo secco cioè gli elementi scaldanti a contatto con l'acqua non sono anche a contatto diretto con i fumi ma separati da una serie di tubi concentrici che evitano il fenomeno della condensa ai bassi regimi.

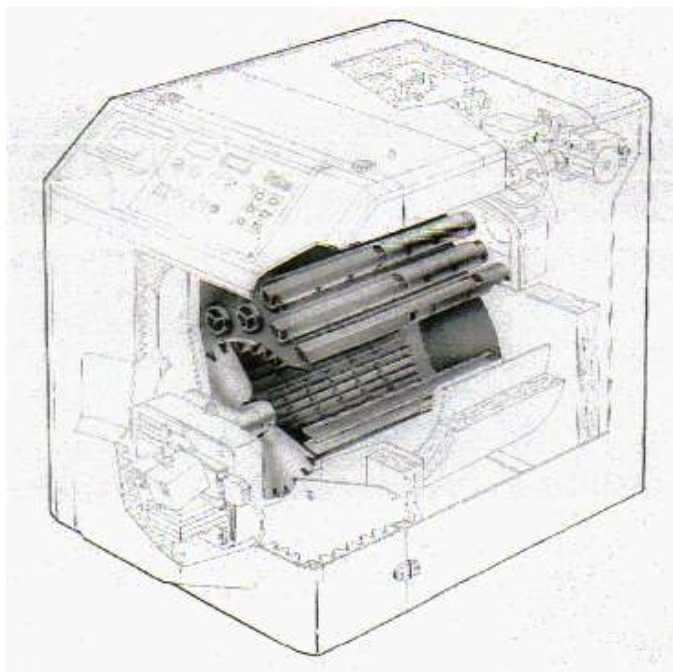


Figura 181: Camera di combustione di una caldaia a temperatura scorrevole

Nella Figura 182 si hanno i particolari dei tubi di fumo che presentano tre settori circolari che assicurano un contatto indiretto parete-acqua evitando i rischi della condensazione del vapore quando la temperatura della caldaia scende al di sotto del punto di rugiada.

Il pericolo della condensazione si ha quando la caldaia lavora a bassi regimi e nelle caldaie tradizionali si utilizza una pompa di ricircolo asservita alla caldaia.

Nella Figura 185 si ha uno spaccato di una caldaia a temperatura scorrevole nel quale si possono vedere i particolari sopra indicati.

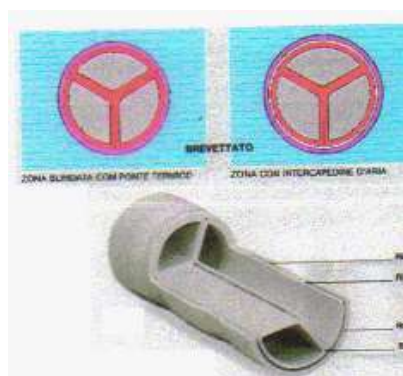


Figura 182: Tubi di fumo per caldaia a temperatura scorrevole

In Figura 186 si ha il confronto dei rendimenti di diversi tipi di caldaie di moderna costruzione: la caldaia a temperatura scorrevole (indicata con il logo **TRISECAL®**) presenta i valori più elevati, soprattutto ai bassi gradi di utilizzazione.

I generatori termici di questo tipo quando sono abbinati ai pannelli di controllo elettronici con regolazione climatica, possono esercire con logica di temperatura scorrevole, adeguando la temperatura di caldaia in funzione del carico termico richiesto (legato al valore della temperatura esterna), con notevoli risparmi di gestione.

La modulazione della potenza, ottenuta attraverso i cicli di on – off degli stadi del bruciatore, consente al generatore di operare con temperatura variabile tra 80 e 40 °C.

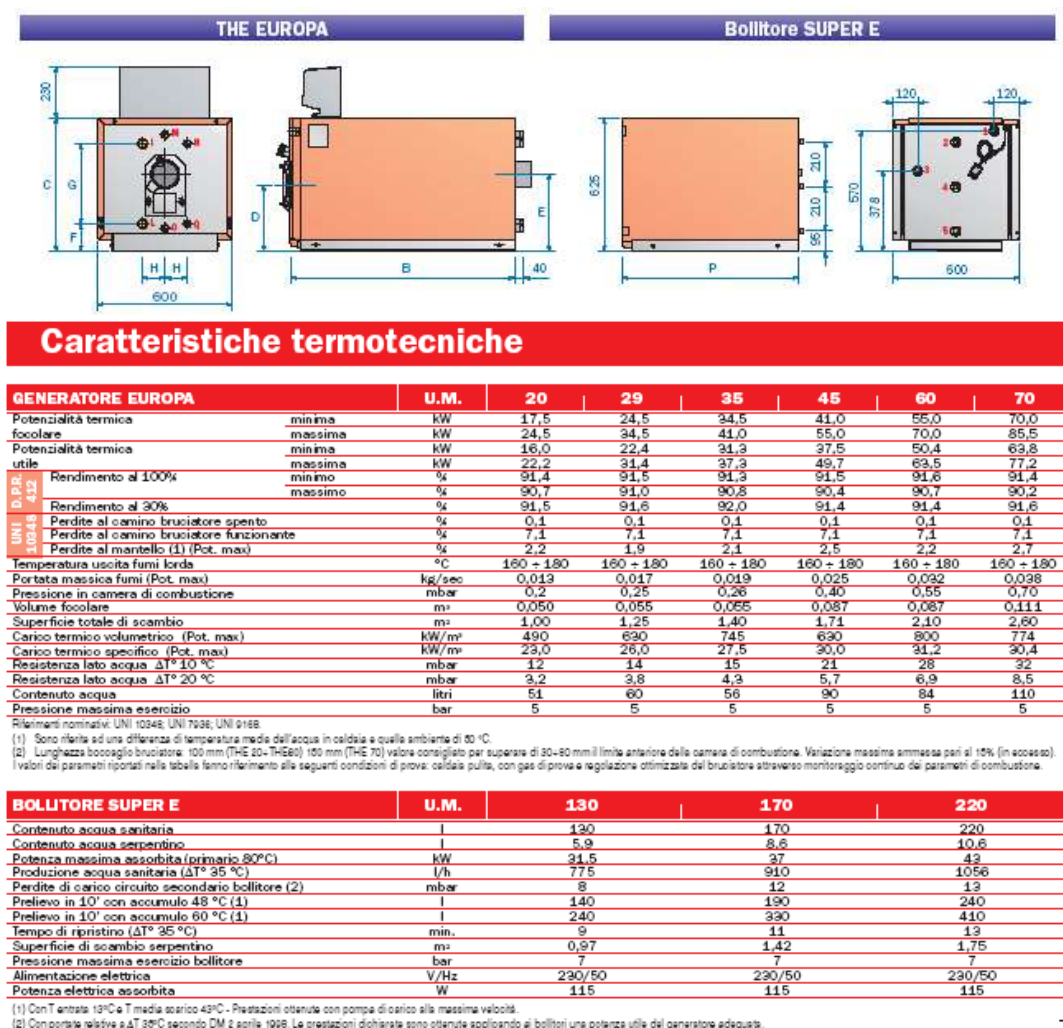


Figura 183: Esempi di dati tecnici di una caldaia a temperatura scorrevole

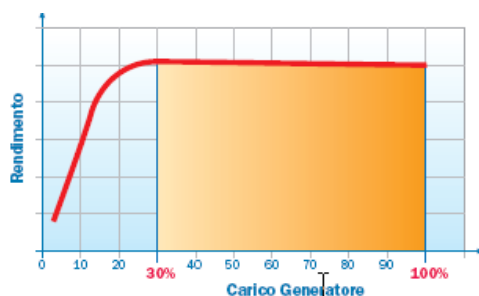


Figura 184: Rendimento di una caldaia a temperatura scorrevole

11.2.4 CALDAIA A PIÙ PASSAGGI DI FUMI

Per ridurre le emissioni nocive (soprattutto di NO_x) si costruiscono oggi caldaie a *più passaggi di fumi* (ad esempio a tre passaggi) che ottimizzano sia gli scambi convettivi dei fumi sia la fase di inversione che viene realizzata non più in camera di combustione ma in un volume diverso posto al di sopra di questa.

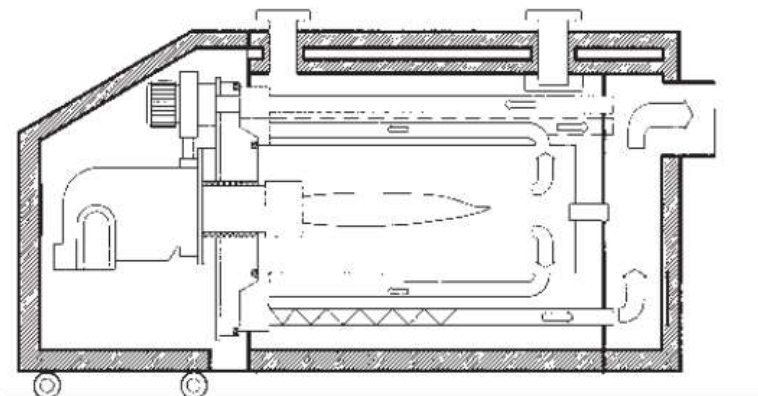


Figura 185: Sezione di una caldaia a temperatura scorrevole

Questo tipo di caldaie è progettato per avere basse contrazioni di NO_x in uscita facendo sì che i gas di scarico siano condotti in uscita con una uniforme distribuzione della temperatura.

Oggi queste caldaie sono anche a temperatura scorrevole e consentono temperature minime di ritorno in caldaia fino a 35°C . Per sfruttare l'energia dei fumi i tubi del terzo giro sono dotati di turbolatori spiraliformi.

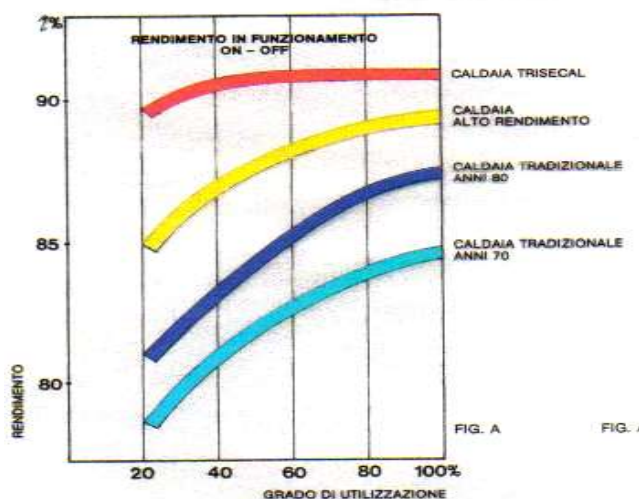


Figura 186: Confronto fra rendimenti dei diversi tipi di caldaia

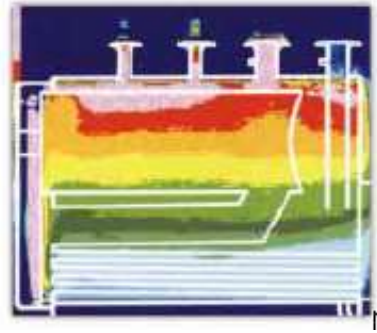


Figura 187: Distribuzione della temperatura



Figura 188: Schema di una moderna caldaia a tre passaggi di fumi

11.2.5 FUNZIONAMENTO DEI GENERATORI DI CALORE

Il generatore di calore è, in ultima analisi, uno scambiatore di calore che consente di trasferire il calore dei prodotti di combustione (*fumi*) all'acqua (o al vapore) calda. L'elemento attivo che fornisce calore è il bruciatore che bruciando combustibile produce i fumi, come indicato in Figura 189.

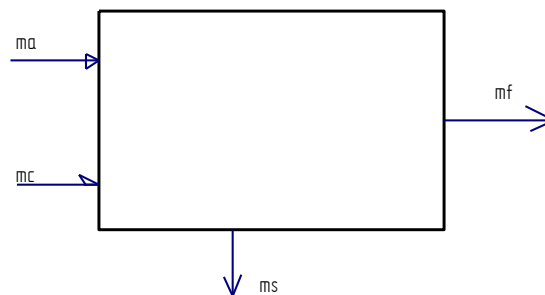


Figura 189: Sistema termodinamico di un generatore

In base al principio di conservazione della massa possiamo scrivere il bilancio:

$$\dot{m}_c + \dot{m}_a = \dot{m}_f + \dot{m}_s \quad [55]$$

ove si ha:

- $\dot{m}_c$ portata massica del combustibile
- $\dot{m}_a$ portata massica di aria comburente
- $\dot{m}_f$ portata massica dei fumi prodotti e che escono dal camino
- $\dot{m}_s$ portata massica di scorie eventualmente prodotte.

Questa relazione si può scrivere opportunamente definendo l'indice d'aria come:

$$n = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{at}} \quad [56]$$

ove $\dot{m}_{at}$ è il flusso di aria teorica necessaria per la combustione stechiometrica del combustibile. Pertanto la [55] diviene:

$$1 + n a_t = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_c} + \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_c} \quad [57]$$

ove n_t è l'indice d'aria e a_t è l'aria teorica di combustione.

Sempre con riferimento al sistema di Figura 189 si può scrivere il bilancio energetico:

$$\dot{E} + \dot{Q} - \dot{L} = \sum_{j=1}^u \left[\dot{m} \left(h + gz + \frac{w^2}{2} \right) \right]_j - \sum_{j=1}^i \left[\dot{m} \left(h + gz + \frac{w^2}{2} \right) \right]_j \quad [58]$$

dove a primo membro abbiamo, nell'ordine, la potenza elettromagnetica, termica e meccanica che entrano nella superficie di controllo, $\dot{m}_j$ la portata di massa e in parentesi tonda la *entalpia*⁵⁵ delle masse entranti ed uscenti dal sistema. Lo scambio di potenza attraverso la superficie di controllo (1° membro) produce una variazione di entalpia nelle portate di massa che attraversano la superficie di controllo.

Nel caso dei generatori termici poniamo a zero la potenza meccanica $\dot{L}$ poiché non viene compiuto lavoro attraverso l'involucro. Inoltre si possono trascurare i termici gravimetrici (gz) e cinetici ($w^2/2$) rispetto alla variazione di entalpia h ottenendo:

$$\dot{E} + \dot{Q} = \sum_{j=1}^u (\dot{m}h)_j - \sum_{j=1}^i (\dot{m}h)_j \quad [59]$$

Con riferimento alla Figura 190 la precedente equazione diviene:

$$\dot{E} - \dot{Q}_d - \dot{Q}_t = \dot{m}_f h_f + \dot{m}_s h_s + \dot{m}_I H_I - (\dot{m}_a h_a + \dot{m}_c h_c + \dot{m}_c H) \quad [60]$$

ove si ha il simbolismo:

- $\dot{E}$ potenza elettrica entrante per azionamento degli ausiliari
- $\dot{Q}_d$ potenza termica dispersa dall'involucro del generatore
- $\dot{Q}_t$ potenza termica utile e quindi ceduta al fluido termovettore
- h_f entalpia massica dei fumi
- h_s entalpia massica delle scorie (assunte come solido inerte)

⁵⁵ Si ricordi dalla *Fisica Tecnica* che si definisce *entalpia* (detta anche *entalpia totale*) la somma: $h + w^2/2 + gz$.

- $\dot{m}_I$ portata di massa degli incombusti (trascurabile rispetto ad $\dot{m}_f$)
- H_I potere calorifico inferiore degli incombusti
- h_a entalpia massica dell'aria comburente
- h_c entalpia massica del combustibile (inteso come fluido inerte)
- H potere calorifico inferiore (a pressione costante) del combustibile)

Le condizioni di riferimento (t_0, p_0) delle entalpie sono quelle del combustibile. La [60] si può ancora scrivere nella forma:

$$\dot{E} + \dot{m}_c H = \dot{Q}_t + \dot{Q}_d + [\dot{m}_f h_f - (\dot{m}_a h_a + \dot{m}_c h_c)] + \dot{m}_I H_I + \dot{m}_s h_s \quad [61]$$

Questa equazione ci dice che la potenza del combustibile e degli ausiliari elettrici viene convertita in parte in potenza utile ($\dot{Q}_t$) e la restante parte viene persa in disperdimenti vari.

Si osservi che la potenza elettrica degli ausiliari ($\dot{E}$) è di solito trascurabile (qualche %) rispetto alla potenza del combustibile e alla potenza utile ma la si è esplicitamente indicata per tenere conto dell'alto valore exergetico rispetto alle energie termiche.

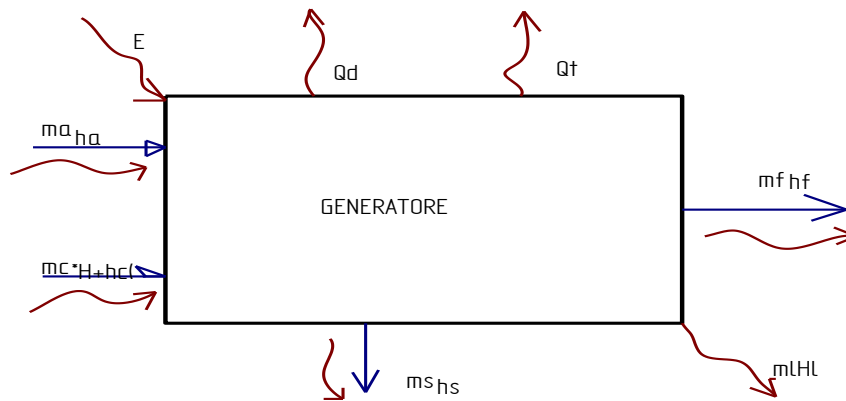


Figura 190: Bilancio energetico per un generatore

Viene definita *potenza al focolaio* il prodotto:

$$\dot{Q}_f = \dot{m}_c H \quad [62]$$

cioè la potenza fornita al bruciatore e rappresenta l'energia primaria in ingresso (oltre quella elettrica per gli ausiliari) al generatore, fondamentale per tutte le analisi economiche. La grandezza principale di uscita è rappresentata dall'*energia utile* ($\dot{Q}_t$) che è anche lo scopo fondamentale del generatore termico. La potenza dispersa per dispersioni attraverso il mantello si calcola, tenendo conto della coibentazione termica normalmente presente e della bassa temperatura superficiale esterna, mediante la relazione:

$$\dot{Q}_d = hA(t_p - t_e)$$

avendo indicato con t_p la temperatura superficiale esterna del mantello, t_e la temperatura dell'aria esterna, h il coefficiente di convezione termica e con A la superficie disperdente del mantello. Il termine $\dot{m}_f h_f - (\dot{m}_a h_a + \dot{m}_c h_c)$ è la potenza termica dispersa con i fumi nel camino.

Questa potenza può essere espressa nella forma:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_f c_f (t_f - t_0) - [\dot{m}_c c_c (t_c - t_0) + \dot{m}_a c_a (t_a - t_0)] \quad [63]$$

avendo indicato con c i calori specifici e t_0 la temperatura di riferimento.

Si osservi che h_a ed h_c sono trascurabili rispetto ad h_f e pertanto, trascurando anche il contributo delle scorie (oggi di poco conto con i combustibili liquidi e gassosi) si può ancora scrivere che le perdite al camino sono essenzialmente date da:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_f c_f (t_f - t_a) \quad [64]$$

La potenza perduta per incombusti ($\dot{m}_I H_I$) dipende dalla qualità della combustione e quindi dalla maggiore o minore presenza di sostanze che non sono state completamente ossidate.

Temperatura teorica di combustione

Se assumiamo le ipotesi:

- assenza di scambio termico, $\dot{Q}_t = 0$
- assenza di disperdimenti $\dot{Q}_{ds} = 0$
- reazione di ossidazione completa (e quindi $\dot{m}_I H_I = 0$)
- assenza di scorie calde (e quindi $\dot{m}_s h_s = 0$)

possiamo scrivere l'equazione di bilancio:

$$\dot{m}_c H = \dot{m}_f c_f (t_{ad} - t_0) - \dot{m}_a c_a (t_a - t_0) - \dot{m}_c c_c (t_c - t_0) \quad [65]$$

La temperatura teorica viene anche detta *temperatura adiabatica di combustione*, indicata con t_{ad} , e vale, dalla precedente equazione:

$$t_{ad} = t_0 + \frac{H + n a_t c_a (t_a - t_0) + c_c (t_c - t_0)}{(1 + n a_t) c_f} \quad [66]$$

Ne deriva che la temperatura adiabatica dipende dall'eccesso d'aria (attraverso n), dall'entalpia dei reagenti (attraverso t_a e t_c) e dal tipo di combustibile (attraverso H ed a_t).

Rendimenti e Perdite

Scriviamo la [61] in forma adimensionale dividendo ambo i membri per la potenza al focolaio $\dot{m}_c H$ per cui otteniamo:

$$\frac{\dot{E}}{\dot{m}_c H} + 1 = \eta + P_d + P_c + P_I + \frac{\dot{m}_s h_s}{\dot{m}_c H} \quad [67]$$

ove si sono indicati:

- η rendimento del generatore termico
- P_d perdite per dispersioni
- P_c perdite al camino
- P_I perdite per incombusti.

Questa equazione non dice nulla di nuovo rispetto alla [61] ma è espressa in forma più semplice.

Il *rendimento energetico* del generatore è dato da:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_t}{\dot{m}_c H} \quad [68]$$

e in pratica viene calcolato valutando separatamente sia il numeratore che il denominatore con metodi diretti (cioè valutando i singoli termini) che indiretti (cioè valutando quanto ceduto all'acqua sottraendo alla potenza al focolare le perdite di calore).

La *perdita per dispersione* è definita dalla relazione:

$$P_d = \frac{\dot{Q}_d}{\dot{m}_c H} \quad [69]$$

e in genere è piccola (qualche %) rispetto alla potenza utile grazie all'isolamento del mantello. La perdita per dispersione cresce al diminuire del carico in quanto il denominatore della [69] diminuisce.

La *Potenza perduta al camino* vale:

$$P_c = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{m}_c H} \quad [70]$$

che può ancora scriversi, per la [64] nella forma:

$$P_c = \frac{\dot{m}_f c_f (t_f - t_a)}{\dot{m}_c H} \quad [71]$$

Le perdite al camino dipendono dal sistema di regolazione del bruciatore. Questo può essere:

- *Modulante: se la portata di combustibile viene variata con continuità fra un valore minimo e quello massimo (nominale);*
- *Tutto o Niente: quando la portata di combustibile è solo quella nominale e quindi si regola accendendo o spegnendo il bruciatore stesso. Questo tipo di bruciatori sono certamente più grossolani ma meno costosi di quelli modulanti e sono utilizzati per generatori di piccola potenza.*

Con regolazione *tutto o niente* il generatore lavora sempre a regime nominale quando il bruciatore è in funziona e quindi le perdite al camino sono pressoché costanti.

Con la regolazione modulante se la portata di combustibile scende (a pari indice d'aria) si riduce la t_f e quindi le perdite al camino.

La *Perdita per incombusti* vale:

$$P_I = \frac{\dot{m}_I H_I}{\dot{m}_c H} \quad [72]$$

Nel caso di incombusti gassosi si può scrivere:

$$P_I = \frac{V_I}{V_f} \frac{\rho_I}{\rho_f} \frac{H_I (1 + n a_t)}{H} \quad [73]$$

ove ρ_I è la densità degli incombusti, ρ_f la densità dei fumi (in condizioni normali) e il rapporti V_I/V_f è il contenuto di incombusti in volume nei prodotti della combustione secchi.

11.3 TIPOLOGIE DI CALDAIE

Le caldaie, oltre per il funzionamento, possono essere classificate per il tipo di combustibili utilizzati e in particolare di tipo:

- *Solido*
- *Liquido*

- *gassoso*
- *e/o di energia elettrica.*

Vediamo brevemente le caratteristiche salienti di ciascun tipo.

11.3.1 GENERATORI A GASOLIO

Si tratta del tipo più diffuso di generatore di calore. Esso è costituito da una caldaia, da un bruciatore e da un serbatoio per il gasolio. Ha buone caratteristiche d'uso: rendimenti di combustione elevati, specialmente nelle caldaie di nuova generazione, buona regolazione, bassi costi di installazione e di manutenzione, buona affidabilità e tecnologia diffusamente conosciuta (e quindi facile reperibilità della mano d'opera) e buona economia di esercizio. Gli spazi necessari per la centrale termica sono stabiliti da apposite norme tecniche pubblicate dall'UNI. Per potenzialità superiore ai 35 kW occorre anche ottenere un *Nulla Osta* da parte dei Vigili del Fuoco. Occorre prevedere la porta di accesso alla centrale termica del tipo *a cielo aperto* (per necessità dei V.V.F) e la localizzazione del serbatoio di combustibile in modo che siano facilmente espletabili le operazioni di scarico del carburante.

In Figura 191 si ha lo spaccato di una moderna caldaia a gasolio per fluidi diatermici⁵⁶ nella quale sono visibili sia i percorsi dei fumi e dei fluidi riscaldati che gli organi di controllo. Il bruciatore montato nella caldaia garantisce la cessione di energia al fluido.

In Figura 192 si ha un esempio di layout di un impianto di produzione di vapore con due generatori ad olio diatermico. Si osservi lo scambiatore a fascio tubiero posto lateralmente a ciascuno dei generatori e il collegamento del circuito dell'olio diatermico al serbatoio interrato. Pari attenzione meritano i vasi di espansione aperti posti al di sopra di ciascun generatore diatermico.

In Figura 193 si ha la foto di una moderna caldaia del tipo a mantello in acciaio: nella parte a destra si ha l'apertura dello sportello con la vista dei tubi di fumo interni. In Figura 194 si ha lo schema costruttivo di una caldaia con elementi in ghisa. Questo tipo di generatore è utilizzato quasi esclusivamente per il riscaldamento di condomini e/o di grandi edifici pubblici, meno frequentemente per il riscaldamento di abitazioni singole (villette o appartamenti isolati).

Normalmente la rete di distribuzione del fluido vettore è ad acqua e quindi le esigenze di spazio da questa occupato sono ridotte. I terminali possono essere di qualunque tipo.

La selezione dei generatori a gasolio si effettua mediante i cataloghi forniti dai costruttori nei quali sono indicati diversi parametri funzionali fra i quali:

- *La potenzialità resa all'acqua (cioè quella fruibile realmente), (W)*
- *La potenzialità al focolare, cioè dovuta alla combustione del gasolio da parte del bruciatore, (W)*
- *Il rendimento globale del generatore (rapporto fra le due precedenti potenzialità) che deve essere conforme alla L10/91 e suoi regolamenti di esecuzione;*
- *Le dimensioni reali del generatore di calore;*
- *I diametri degli attacchi dell'acqua,*
- *Il diametro della canna fumaria.*

⁵⁶ I fluidi diatermici sono particolari oli in grado di riscaldarsi a temperature superiori a 100 °C senza raggiungere il punto di vaporizzazione. Essi sono utilizzati in impianti nei quali la temperatura del fluido di lavoro deve essere maggiore di 100 °C senza ricorrere alla pressurizzazione.

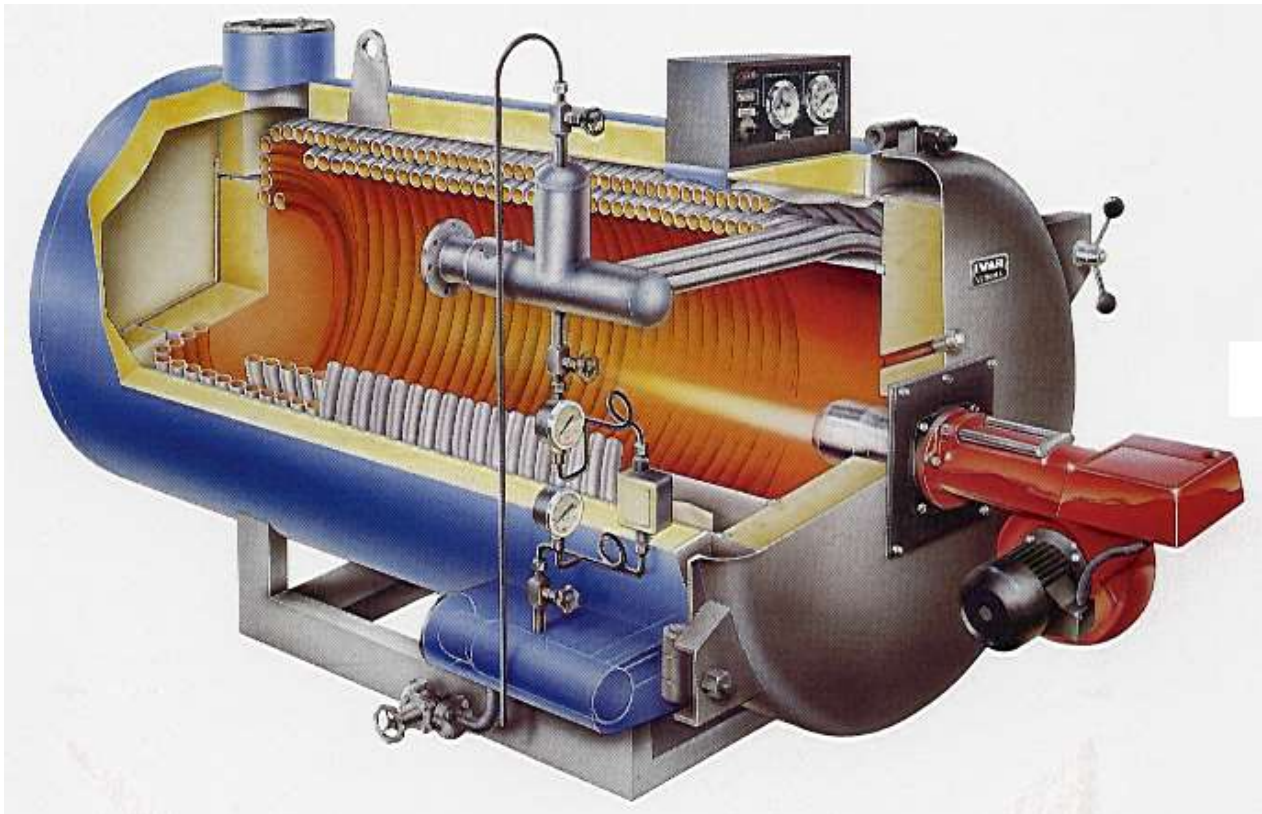


Figura 191: Schema di una caldaia alimentata a gasolio per fluidi diatermici

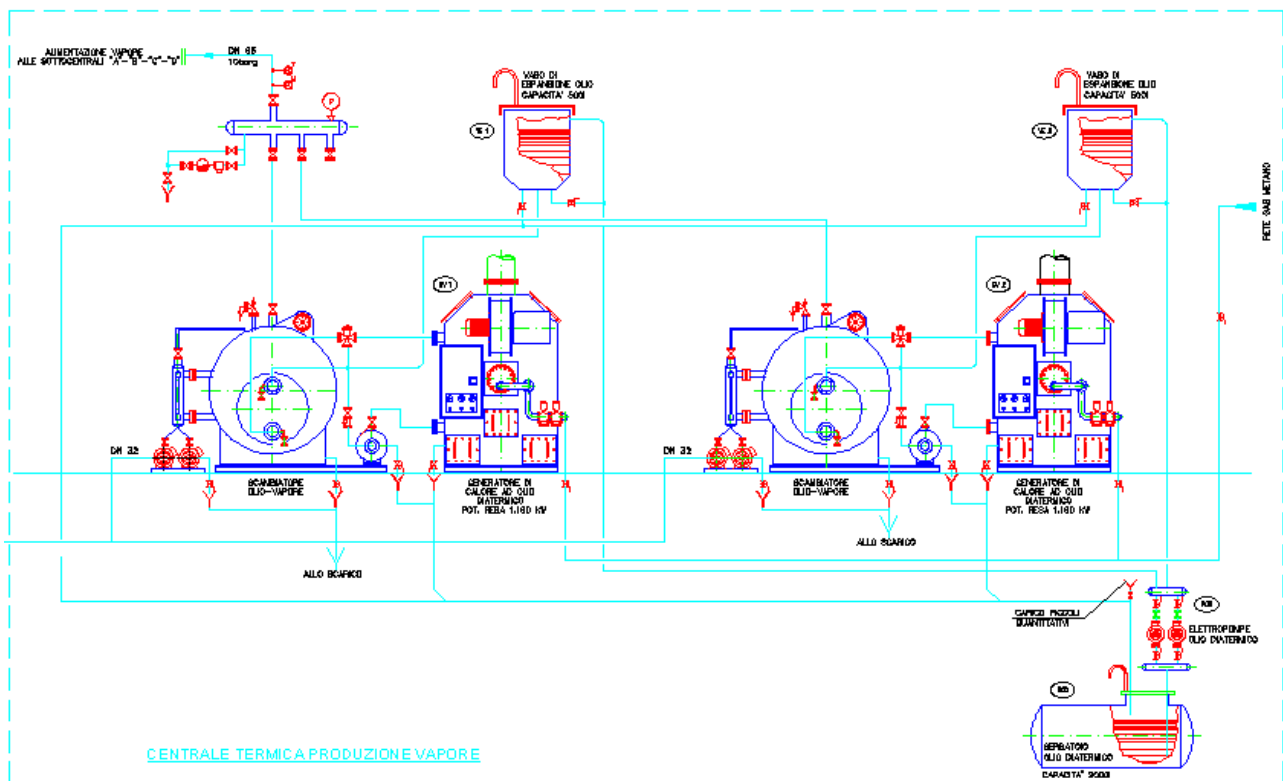


Figura 192: Esempio di centrale termica con generatori ad olio diatermico



Figura 193: Esempio di caldaia a mantello in acciaio



Figura 194: Elemento di una caldaia in ghisa

11.3.2 GENERATORI A GAS

Con la diffusione del gas metano si sta assistendo ad una buona diffusione delle caldaie alimentate a gas. Normalmente si tratta di generatori di piccola taglia, adatti al riscaldamento unifamiliare o di piccoli condomini e non richiedono particolari autorizzazioni dei VV.F. Proprio questa caratteristica, unitamente alle ridotte dimensioni e quindi facilità di installazione anche in un balcone, sta contribuendo alla diffusione di questi generatori per singole utenze.

I rendimenti sono buoni, specialmente nei modelli più recenti, l'esercizio è quasi del tutto automatizzato dalle installazioni monoblocco. Presentano qualche pericolosità se installate all'interno degli appartamenti a causa del consumo d'aria di combustione che, se non rinnovata, può portare alla formazione del monossido di carbonio, altamente pericoloso perché mortale. La rete di distribuzione del fluido termovettore è, di solito, ad acqua con terminali del tipo a radiatori o termoconvettori. Si fa osservare che la diffusione di queste piccole caldaie può portare ad una diminuzione globale del rendimento di combustione rispetto a quello ottenibile con un generatore unico a gasolio. La tendenza al controllo personalizzato del proprio impianto di riscaldamento induce alla diffusione di questo tipo di caldaie a gas ma il rendimento di 100 caldaie singole di un

condominio non è lo stesso del rendimento di un generatore unico di potenzialità termica equivalente.

Spesso i singoli proprietari non effettuano la necessaria manutenzione e quindi le condizioni di esercizio spesso non sono ottimali. Inoltre i disperdimenti termici (dovute al mantello e ai fumi) sono certamente superiori. Stranamente in Italia si sta avendo un'evoluzione positiva per il riscaldamento monoutente mentre in altre nazioni, vedi ad esempio la Francia, si ha una tendenza opposta che porta a sostituire le caldaie singole con un impianto centralizzato, più economico nell'esercizio e nell'installazione. Le difficoltà di gestione personalizzata del periodo di riscaldamento giornaliero, che è l'unico motivo ancora valido per la preferenza delle caldaie singole, è oggi superata, nei nuovi impianti, con la contabilizzazione elettronica dell'energia termica consumata per il riscaldamento.



Figura 195: Caldaia Murale a gas – Configurazione Chiusa e Aperta

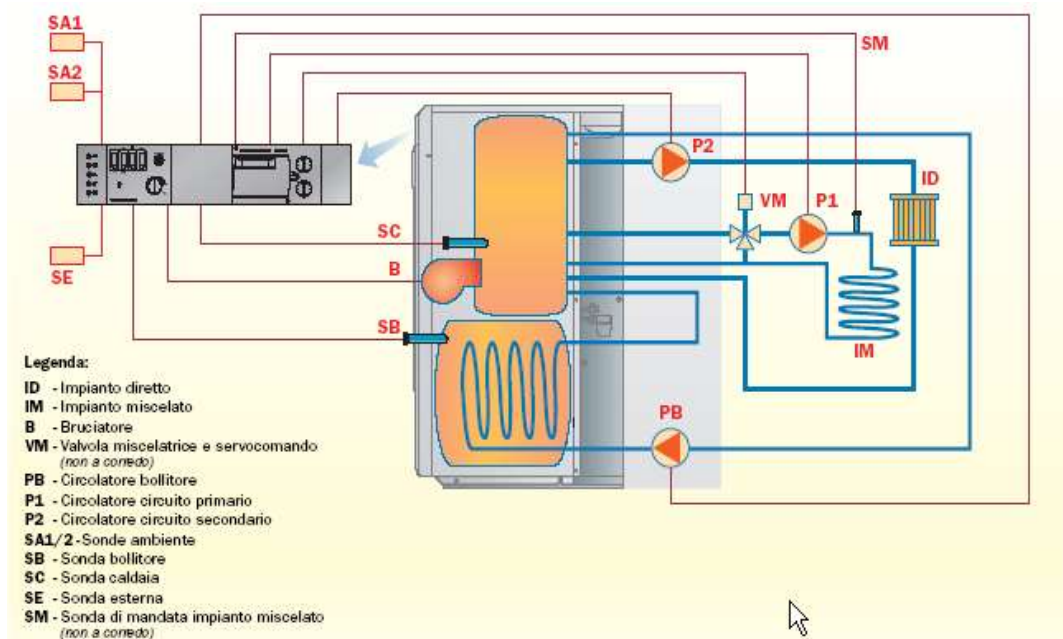


Figura 196: Schema funzionale di una caldaia murale a gas

In caso di uso condominiale deve esserci la contabilizzazione dell'energia termica mediante un semplice *entalpimetro*⁵⁷ e che quindi ciascun utente paghi in relazione al consumo vero di energia termica e non in base a *quote millesimali* fittizie.

Ciò rende del tutto inutile l'imposizione di periodi di riscaldamento unici per tutti i condomini poiché si può sempre avere il generatore in funzione (soprattutto nelle zone climatiche più fredde, dalla C in poi) ed attivare i singoli impianti condominiali (ciascuno con alimentazione indipendente) nelle ore nelle quali si desidera avere il riscaldamento.

Naturalmente è facile avere questa flessibilità per i nuovi impianti, progettati già in funzione della contabilizzazione e della flessibilità di esercizio. Per i vecchi impianti risulta difficile intervenire se non con costi elevati di installazione e riadattamento. L'uso del gas può anche essere ammesso per grandi centrali termiche, in sostituzione del gasolio. Si ha il risparmio del serbatoio di combustibile ed una maggiore facilità di esercizio.

L'installazione dei bruciatori a gas richiede una maggiore attenzione progettuale. Il gas può essere utilizzato anche per far marciare le macchine ad assorbimento sia per il riscaldamento che per il condizionamento estivo.

Si tratta, invero, di impianti particolari e non molto diffusi in Italia. La selezione dei generatori a gas viene effettuata ancora su *catalogo*, come indicato per i generatori a gasolio. Per potenzialità piccole (*abitazioni unifamiliari*) spesso si ha un esubero che può essere utilizzato per la produzione di acqua sanitaria. Particolare attenzione deve essere prestata alla ventilazione della centrale termica sia per garantire il buon funzionamento del bruciatore a gas che per condizioni di sicurezza, in particolare per generatori unifamiliari.

In Figura 195 si ha una vista di una caldaia murale a gas in configurazione chiusa e in configurazione aperta e si possono vedere all'interno gli organi principali quali il bruciatore, la pompa di circolazione, gli organi di controllo e l'eventuale soffiante per i fumi se la caldaia è pressurizzata.

In Figura 196 si ha lo schema funzionale di una caldaia murale a gas nel quale sono indicati i collegamenti alla rete idrica di alimentazione e di distribuzione dell'acqua calda (sia per il riscaldamento che per l'acqua sanitaria).

11.3.3 CALDAIE A BIOMASSA

Negli ultimi anni, anche per effetto degli incentivi della legislazione vigente (principalmente la UNI TS 11300/4 e il D.Lgs. 28/2011), si stanno diffondendo molto le caldaie a biomassa. Quest'ultima deriva da scarti di lavorazione del legno (ad esempio il cippato) o dal legno stesso, dai rifiuti della lavorazione delle olive e dell'uva e dai residui organici di lavorazione del comparto agro-alimentare.

In effetti il combustibile utilizzato viene considerato non inquinante nel breve periodo nel senso che la CO₂ liberata dalla combustione viene riutilizzata dalle piante nella fotosintesi clorofilliana per riprodurre la stessa biomassa (ad esempio il legno). In definitiva si ha un ciclo virtuoso che non sovraccarica l'ambiente di CO₂.

In effetti se si allarga l'intervallo temporale anche il petrolio deriva dalla conversione ad alta pressione di biomasse. Tuttavia il periodo di formazione è datato di migliaia di anni e quindi non più bilanciabile a scala temporale ridotta (alcuni decenni).

⁵⁷ L'*entalpimetro* è un semplice apparecchio misuratore costituito da due termosonde inserite nella tubazione di mandata e di ritorno dell'acqua di riscaldamento, da una turbinetta per la misura della portata dell'acqua calda e da uno strumento integratore (anche meccanico ma la diffusione dell'elettronica ha portato ad avere strumenti elettronici più economici) che effettua l'integrale

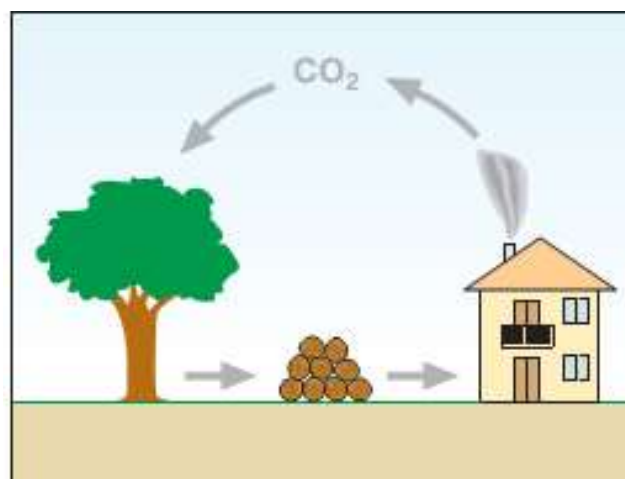
$$Q = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \dot{m} c_p (t_i - t_u) d\tau$$
, cioè la somma continua fra gli istanti τ_1 e τ_2 del prodotto della portata di massa $\dot{m}$ per la differenza di temperatura fra ingresso e uscita dell'acqua.



Figura 197: Tipologie di biomassa

Combustibile	kWh	Rendimento	Costo €	€/kWh utile
1 mc metano	9,8	90%	0,7	0,08
1 litro gasolio	10	80%	1,1	0,14
1 litro (1 Kg) GPL	7 (12,8)	90%	0,96 (1,8)	0,16
1 Kg legna	4,3	80%	0,13	0,04
1 Kg pellet	4,8	90%	0,23	0,05

Tabella 52: Caratteristiche energetiche ed economiche delle biomasse

Figura 198: Ciclo della CO₂ per le biomasse

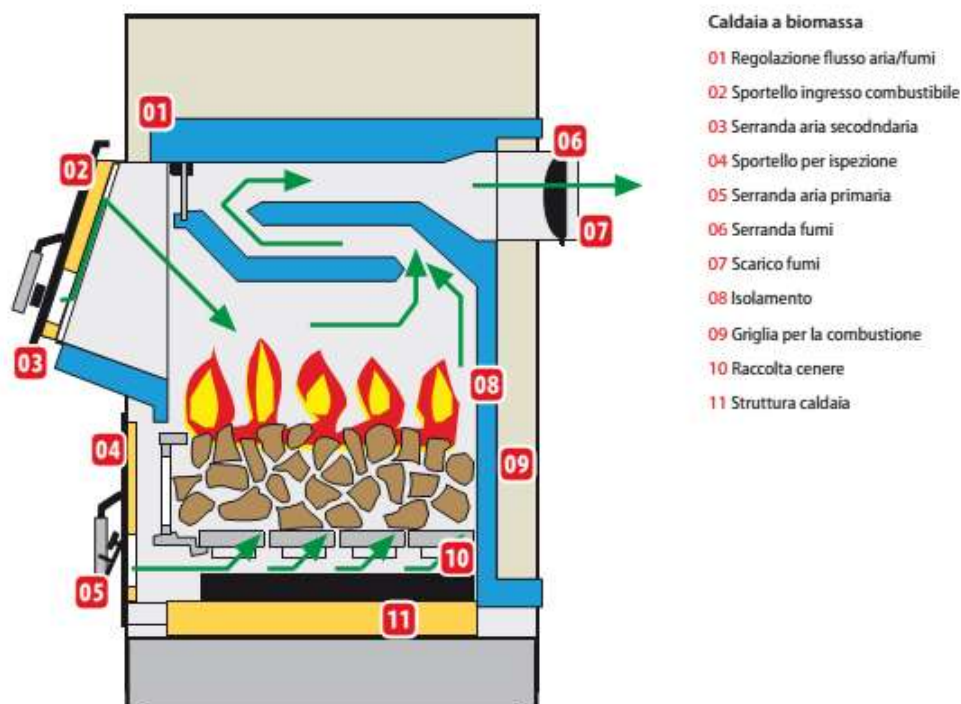


Figura 199: Funzionamento di una caldaia a legna

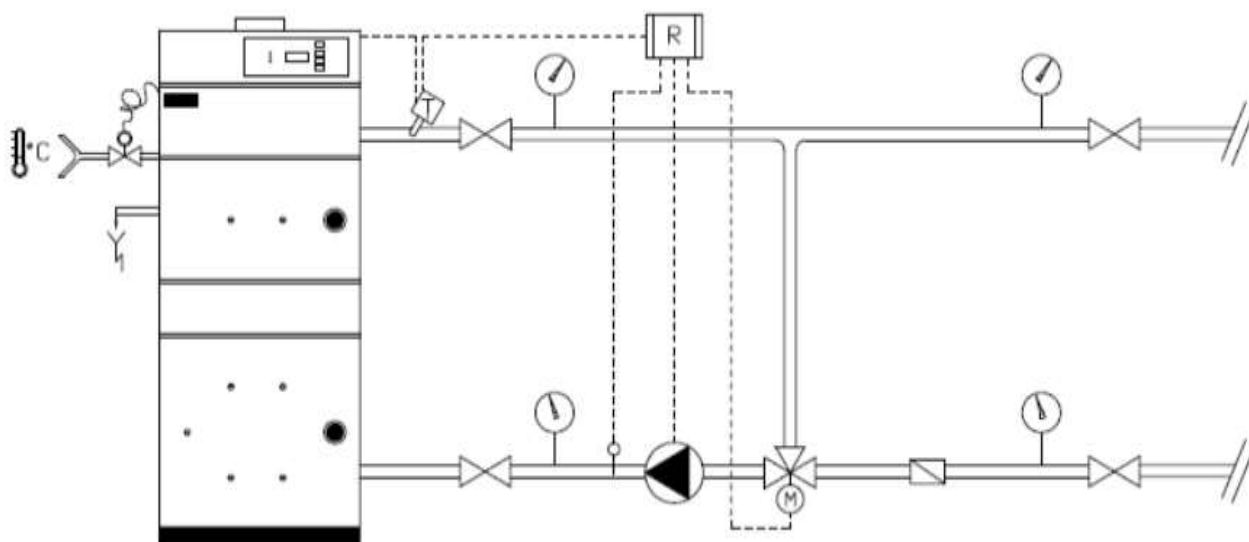


Figura 200: Installazione di una caldaia a biomassa

Una caldaia a biomassa di nuova concezione deve prima di tutto poter regolare in modo automatico l'afflusso d'aria in funzione della combustione, una delle tecniche più evolute è quella della sonda lambda.

Il concetto di base di una regolazione della combustione con biomassa è quello di monitorare l'aria primaria e quella secondaria, e regolarne l'afflusso nella camera di combustione.

Si pensi per esempio ad un camino, quando si brucia della legna è necessario che ci sia un'apertura inferiore che crei un apporto d'aria (primaria) e poi mediante una ventilazione manuale si crea un apporto di ulteriore aria (secondaria).

Il combustibile è solido, quindi c'è necessità di stoccaggio in prossimità della caldaia, e di trasporto del combustibile stesso all'interno della camera di combustione.

Questo per rendere il più possibile autonomo il funzionamento della caldaia.

Le diverse tipologie di sonde lambda si differenziano per il tipo di ceramica utilizzata per rilevare la presenza di ossigeno nei fumi della caldaia. La superficie esterna dell'elemento in ceramica è a diretto contatto con i fumi, mentre la superficie interna con l'atmosfera. Entrambe le superfici sono rivestite di un sottile strato (generalmente di platino). L'ossigeno attraversa lo strato ceramico e carica elettricamente il rivestimento che quindi genera un segnale elettrico che viene inviato, mediante il cavo di connessione del sensore, alla regolazione elettronica che adeguerà di conseguenza l'afflusso dell'aria agendo sul ventilatore.



Figura 201: Sonda lambda

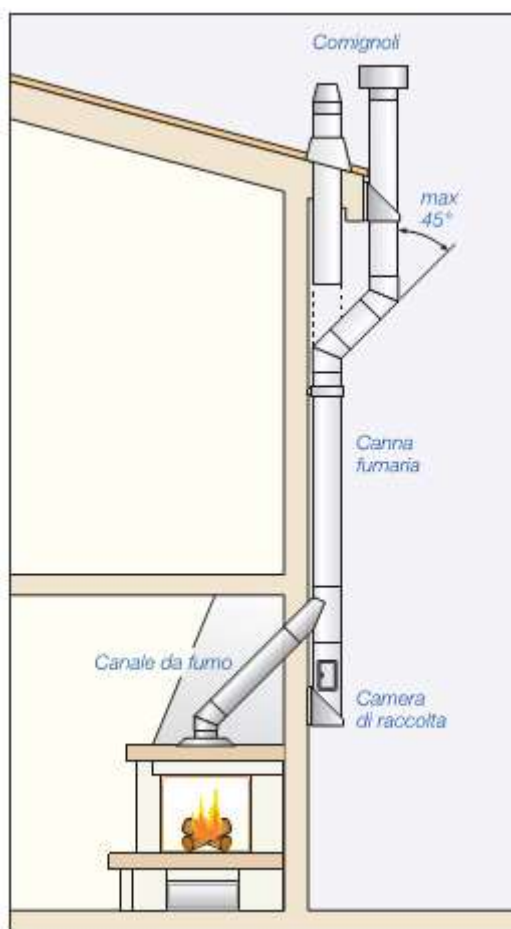


Figura 202: Installazione del camino per caldaia a biomassa

Nella seguente tabella si ha un esempio di data sheet per caldaie a biomassa commerciali di piccola taglia (mono o plurifamiliari).



CALDAIA A PELLET	Modello BPH	-10	-15	-25	-35
Potenza termica nominale	kW	9,2	14,9	25	35
Campo di potenza nominale	kW	2,4-9,2	4,5-14,9	6,7-25	8,3-35
Altezza caldaia	A mm	1400	1340	1500	1750
Altezza complessiva	B mm	1450	1395	1500	1750
Larghezza caldaia	C mm	900	1060	1300	1300
Profondità complessiva caldaia	D mm	480	685	650	650
Mandata caldaia	E mm	240	490	475	465
Ritorno caldaia	F mm	370	615	845	1110
Collegamento caldaia	G mm	25	58	-	-
Collegamento caldaia	H mm	-	-	325	325
Attacco scarico fumi	J mm	240	330	1090	1335
Attacco scarico fumi	K mm	320	530	325	325
Diametro scarico fumi	mm	130	130	130	130
Attacchi di mandata e ritorno	R	¾"	1"	1"	1"
Contenuto d'acqua della caldaia	Ltr.	25	50	80	120
Pressione massima di esercizio caldaia	bar	3,0	3,0	3,0	3,0
Tiraggio necessario	Pa	0-5	0-5	0-5	0-5
Temperatura massima di mandata	°C	80	90	90	90
Temperatura fumi massima	°C	95	125	120	97
Portata fumi a potenza nominale	g/s	5,3	9,0	15	22
Volume camera di stoccaggio pellet	Ltr.	40	60	100	200
Peso	kg	270	330	370	430
Alimentazione elettrica		230 V/50 Hz/10A			

Tabella 53: Data Sheet per caldaie a biomassa



Figura 203: Funzionamento di una caldaia a pellets

Le UNI TS11300/4 stabiliscono le caratteristiche dei fumi provenienti dalle caldaie a biomassa. L'efficienza di questo tipo di caldaie non è comparabile con quelle a gasolio o a gas metano. Essa si aggira intorno a 0.75.

Tuttavia le R14/2013 del CTI indica per le caldaie a biomassa un fattore di energia primaria rinnovabile pari al 70% e non rinnovabile pari al 30%. Si intuisce la grande convenienza ad utilizzare questo tipo di caldaia.

11.3.4 CALDAIE MODULARI

Si tratta di caldaie che possono essere composte in più moduli fino ad arrivare a potenze elevate. Ciascun modulo ha una potenzialità di 40-100 kW e il numero di moduli può arrivare a 6-8. Esse sono una valida alternativa alle centrali termiche tradizionali.

Di fatto una caldaia modulare è a tutti gli effetti una centrale termica preassemblata, a norma, pronta per essere installata in pochissimo tempo, ovunque: all'esterno, su tetti piani, negli scantinati, sui terrazzi.

Negli impianti centralizzati la potenza della caldaia viene calcolata come massimo fabbisogno delle giornate più fredde, relativamente poche, sovradimensionando così il generatore per la maggior parte della stagione. A maggior ragione se la caldaia viene utilizzata anche per produrre acqua calda sanitaria, cioè se viene tenuta in funzione anche quando il riscaldamento non è attivo.

La modularità permette di frazionare la potenza in base alle richieste dell'impianto e di erogare sempre la potenza strettamente necessaria, sia che si tratti di riscaldamento, sia di produzione di acqua calda sanitaria, con rapporti di modulazione impensabili nei sistemi tradizionali.

Una centrale termica a quattro stelle in classe V di NOx, con massimo rendimento medio stagionale ed emissioni inquinanti quasi inesistenti.

Ulteriori vantaggi:

- *Emissioni acustiche praticamente impercettibili.*
- *Produzione contemporanea di calore per l'impianto di riscaldamento e per un eventuale bollitore remoto.*
- *Eliminazione quasi totale delle perdite energetiche che si hanno nelle caldaie tradizionali a bruciatore spento.*
- *Funzionamento senza interruzioni anche in fase di manutenzione.*
- *Omologazione ISPESL.*

L'installazione delle caldaie modulare deve seguire uno schema ben preciso, come indicato nella seguente figura. In particolare i dispositivi di protezione non devono mai essere intercettati ed il vaso di espansione può essere intercettato solo da una valvola a tre vie.

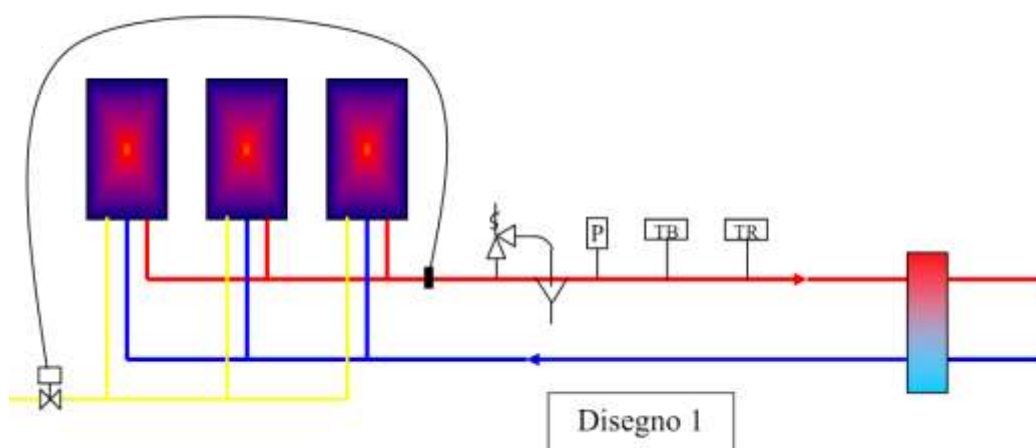


Figura 204: Corretta installazione di caldaie modulari

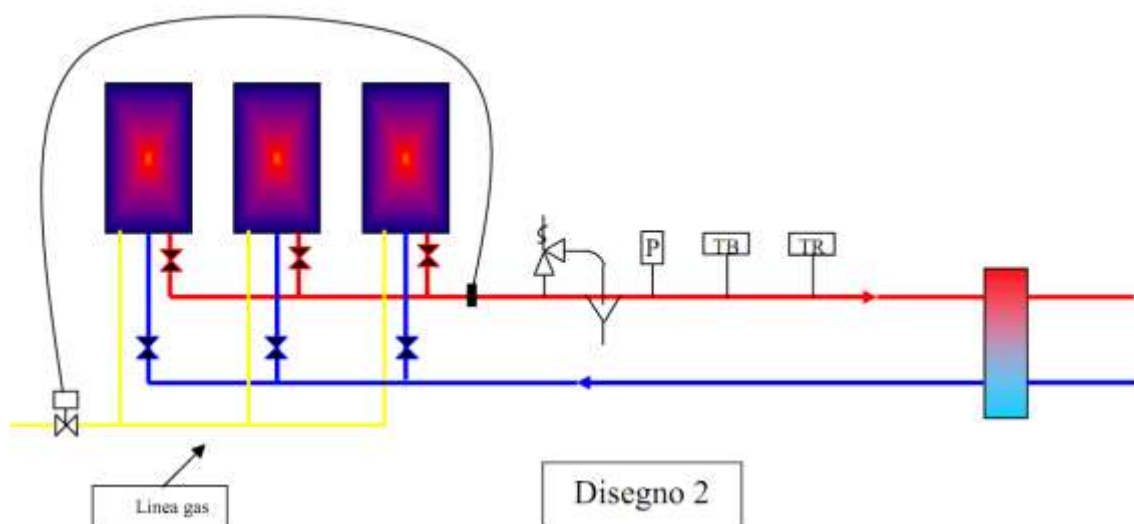


Figura 205: Non corretta installazione delle caldaie modulari

11.3.5 SELEZIONE DELLE CALDAIE

La selezione del generatore termico richiede la conoscenza della **potenza utile** da fornire all'acqua, cioè della potenza che viene immessa nella rete di distribuzione e che dovrà soddisfare le richieste degli ambienti dell'edificio. E' questo il parametro fondamentale di selezione.

In Tabella 54 si ha un esempio di catalogo commerciale per le caldaie in acciaio del tipo viste in precedenza. Pertanto, scelta la tipologia di caldaia, fra quelle sopra indicate, si seleziona il modello da catalogo in modo che la potenza utile (detta anche potenza all'acqua) sia soddisfatta.

Il costruttore fornisce anche la potenza al focolare (cioè quella generata dal bruciatore), la pressione di esercizio massima, le dimensioni, il peso e i diametri per gli attacchi.

E' anche utile conoscere il contenuto d'acqua al fine di determinare il volume del vaso di espansione (vedi più avanti).

11.4 BRUCIATORI

I bruciatori sono i dispositivi che trasformano energia chimica dei combustibili in energia termica (fiamma e fumi) che viene poi ceduta all'acqua delle caldaie.

Sono organi complessi ed importanti per il buon funzionamento dei generatori termici.

Si vedranno nel prosieguo il funzionamento e le tipologie principali disponibili nel mercato.

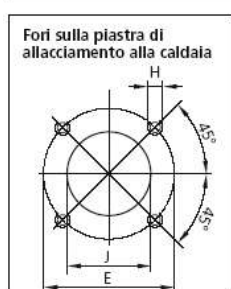
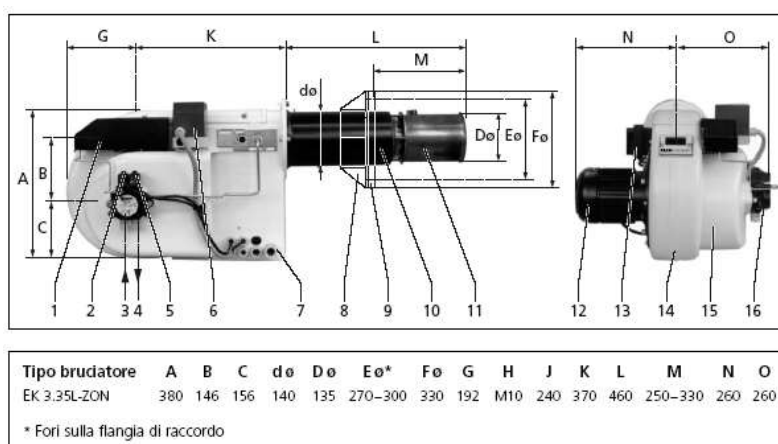
In genere i bruciatori hanno dimensioni e caratteristiche tecniche in funzione della potenzialità termica da fornire. I piccoli bruciatori (qualche decina di kW) hanno funzionamento on off anche al fine di ridurre i costi di acquisto.

I bruciatori medi (da alcune decine di kW ad un centinaio di KW) hanno una regolazione a più stadi ed infine i bruciatori di grande potenza (centinaia di KW) hanno una regolazione modulante che, essendo costosa, giustifica il suo prezzo anche per il costo elevato dei bruciatori di grossa taglia.

I bruciatori hanno un corpo principale che contiene la soffiante per l'aria di combustione, la pompa combustibile (per il gasolio) ed una cannula nella quale avviene l'innesco della combustione. La fiamma viene poi lanciata verso l'interno della caldaia in modo da riscaldare, per irraggiamento e convezione, l'acqua che scorre all'interno di tubi posti circonferenzialmente alla camera di combustione.

Caratteristiche tecniche	Unità di misura	VICTRIX 90		VICTRIX 115	
Codice caldaia metano/Codice caldaia GPL Certificato CE Codice dima		3.020208/3.020208GPL 0051BO2448 1.029286		3.020209/3.020209GPL 0051BO2448 1.029286	
Portata termica nominale massima	kW (kcal/h)	92,3 (79.417)		112,8 (96.986)	
Portata termica nominale minima	kW (kcal/h)	23,0 (19.777)		30,1 (25.896)	
Potenza termica massima utile	kW (kcal/h)	90,0 (77.400)		111,0 (95.460)	
Potenza termica minima utile	kW (kcal/h)	22,5 (19.350)		29,5 (25.370)	
Rendimento termico utile al 100% Pn (80/60 °C)	%	97,5		98,4	
Rendimento termico utile al 30% del carico nom. (80/60 °C)	%	100,6		100,3	
Rendimento termico utile al 100% Pn (50/30 °C)	%	106,0		106,8	
Rendimento termico utile al 30% del carico nom. (50/30 °C)	%	108,3		106,4	
Rendimento termico utile al 100% Pn (40/30 °C)	%	108,7		108,7	
Rendimento termico utile al 30% Pn (40/30 °C)	%	108,3		108,8	
Perdite al camino bruciatore ON 100% Pn (80/60 °C)	%	1,8		1,8	
Perdite al camino bruciatore OFF	%	0,01		0,01	
Perdite al mantello bruciatore ON 100% Pn (80/60 °C)	%	0,7		0,2	
Perdite al mantello bruciatore OFF	%	0,41		0,28	
Rendimento termico utile al 100% della potenza nominale (ai sensi del D. Lgs. 192/05 e successive modificazioni)		> 93+2·log Pn (Pn = 90 kW)		> 93+2·log Pn (Pn = 111 kW)	
Classe di NOx		5		5	
NOx ponderato	mg/kWh	23,3		28	
CO ponderato	mg/kWh	20,0		19	
Portata gas al bruciatore a potenza max e min riferita al metano (G20)	m³/h	9,77 - 2,43		11,94 - 3,19	
Prevalenza disponibile ventilatore (max - min)	Pa	170 - 2		235 - 6	
		G20	G31	G20	G31
Portata in massa dei fumi a potenza nominale (50/30 °C)	Kg/h	148	147	179	179
Portata in massa dei fumi a potenza minima (50/30 °C)	Kg/h	37	38	50	49
CO ₂ a Potenza nominale/minima (50/30 °C)	%	9,3/9,1	10,7/10,2	9,4/8,9	10,7/10,3
CO a 0% di O ₂ a Potenza nominale/minima (50/30 °C)	ppm	180/10	215/12	215/10	240/11
Temperatura fumi a potenza nominale (50/30 °C)	°C	52	53	52	53
Temperatura fumi a potenza minima (50/30 °C)	°C	49	49	44	46
Temperatura max di esercizio	°C	90		90	
Temperatura regolabile riscaldamento	°C	25 - 85		25 - 85	

Tabella 54: Dati caratteristici per una caldaia in acciaio



- Servocomando ottimizzatore afflusso d'aria
- Valvola magnetica, carico totale
- Allacciamento tubo di aspirazione
- Allacciamento tubo di ritorno
- Valvola magnetica, carico di base
- Servocomando elettrico per clappa di chiusura dell'aria
- Quadro elettrico, automatismo di combustione, protezione termica del motore, interruttore di servizio, morsettiera
- Flangia di raccordo
- Elemento isolante
- Tubo del bruciatore
- Involucro fiamma
- Motore elettrico
- Trasformatore di accensione
- Corpo del bruciatore
- Disp. di aspirazione dell'aria
- Monoblocco pompa olio 2-stadi con 2 reg. pressione e 2 valvole magnetiche

Figura 206: Esempio di bruciatore

La lunghezza della cannula è variabile e va scelta in funzione delle dimensioni e dell'attacco della caldaia. Nelle figure seguenti si hanno indicazioni dimensionali e di funzionamento, come appena descritto.

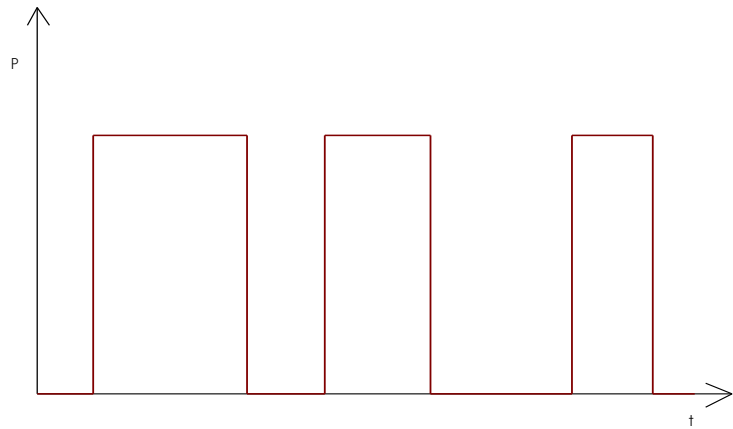


Figura 207: Regolazione Monostadio On-Off

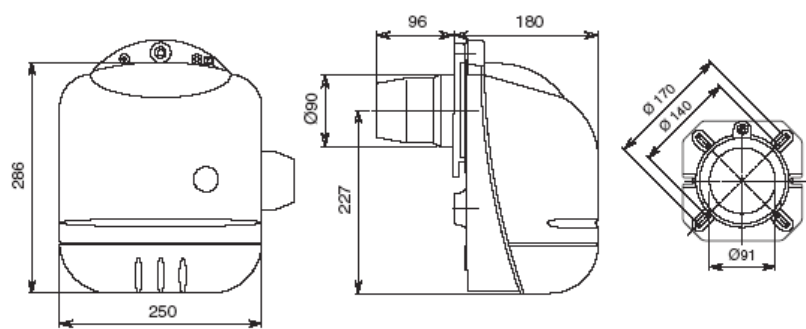


Figura 208: Esempio di bruciatore monostadio

Portata	min	kg/h	1,12
	max	kg/h	4,9
Potenza	min	kW	13,3
	max	kW	58,1
Funzionamento			monostadio
Alimentazione			230V - 50 Hz
Potenza assorbita	W		220
Grado di protezione			IP 40

Figura 209: Esempio di dati di targa di un bruciatore monostadio

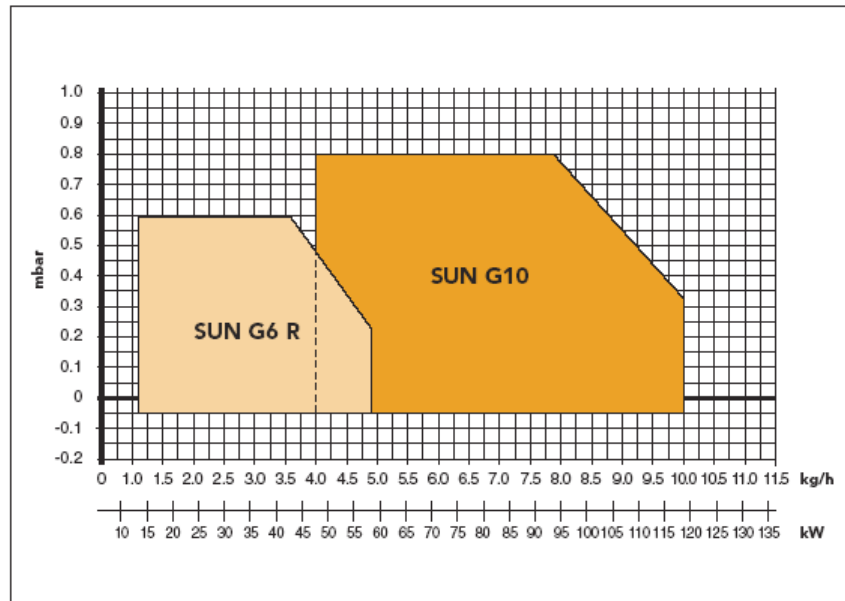


Figura 210: Esempio di campi di lavoro di bruciatori monostadio

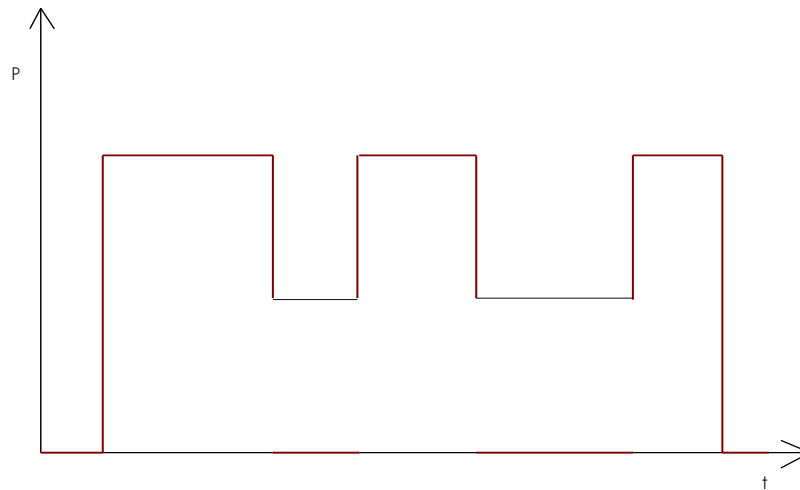


Figura 211: Regime Bistadio 50 ÷ 100%

Portata	1° stadio min	kg/h	8
	2° stadio min	kg/h	10
	2° stadio max	kg/h	20
Potenza	1° stadio min	kW	95
	2° stadio min	kW	118,6
	2° stadio max	kW	237,2
Funzionamento			bistadio
Alimentazione			230V - 50 Hz
Potenza assorbita		W	—
Grado di protezione			IP 40

Figura 212: Esempio di dati di targa di un bruciatore bistadio

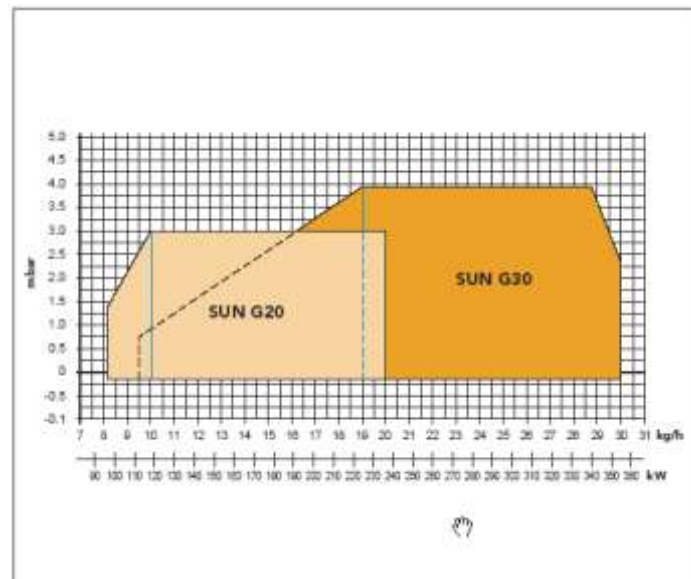


Figura 213: Esempi di campi di lavoro di bruciatori bistadio



Figura 214: Esempio di bruciatore modulante

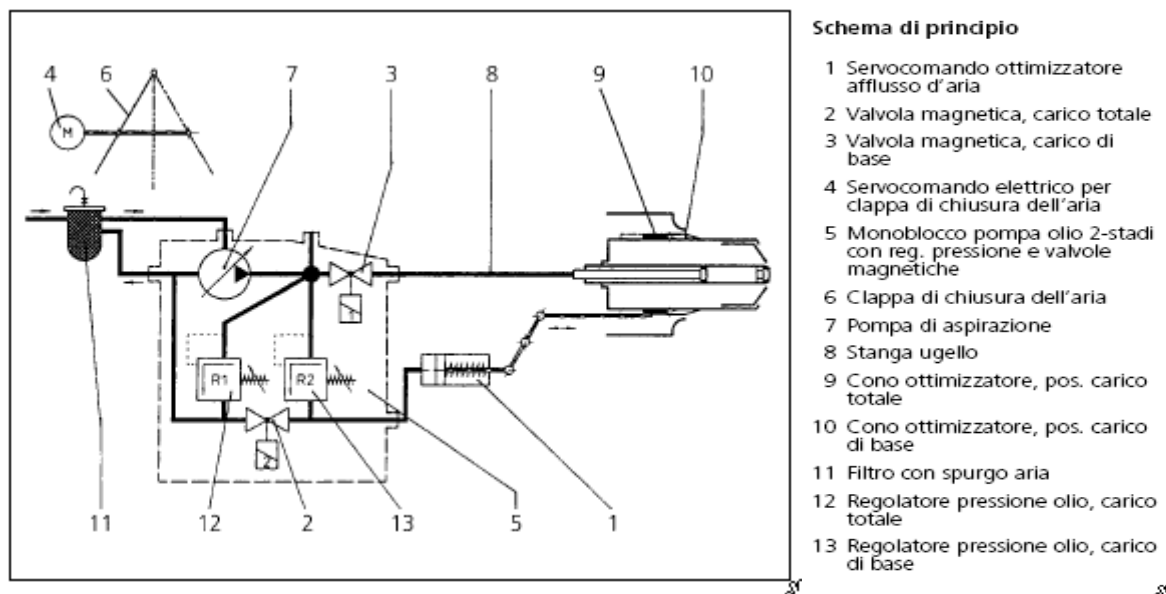


Figura 215: Schema di principio della regolazione di un bruciatore

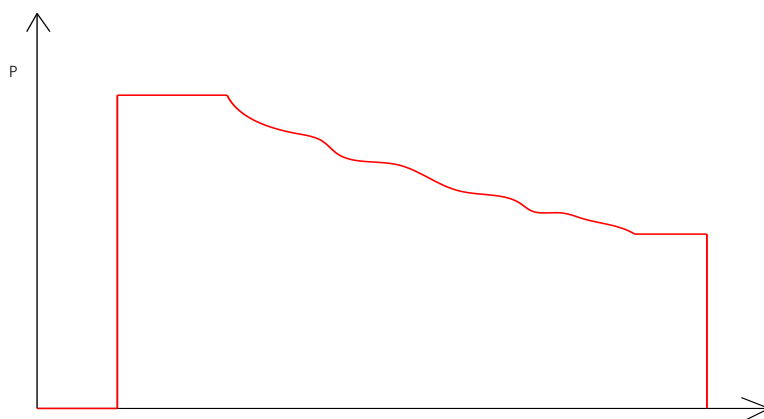


Figura 216: Regime modulante fra 50 e 100%

11.4.1 INSTALLAZIONE DEI BRUCIATORI

I bruciatori sono componenti di impianto particolarmente pericolosi e vanno installati secondo le prescrizioni indicate dalla Circolare del 29-07-71 per quelli a gasolio e dalla norma UNI 8042 per quelli a gas. In particolare vanno rispettate scrupolosamente le prescrizioni di sicurezza che qui si riassumono schematicamente.

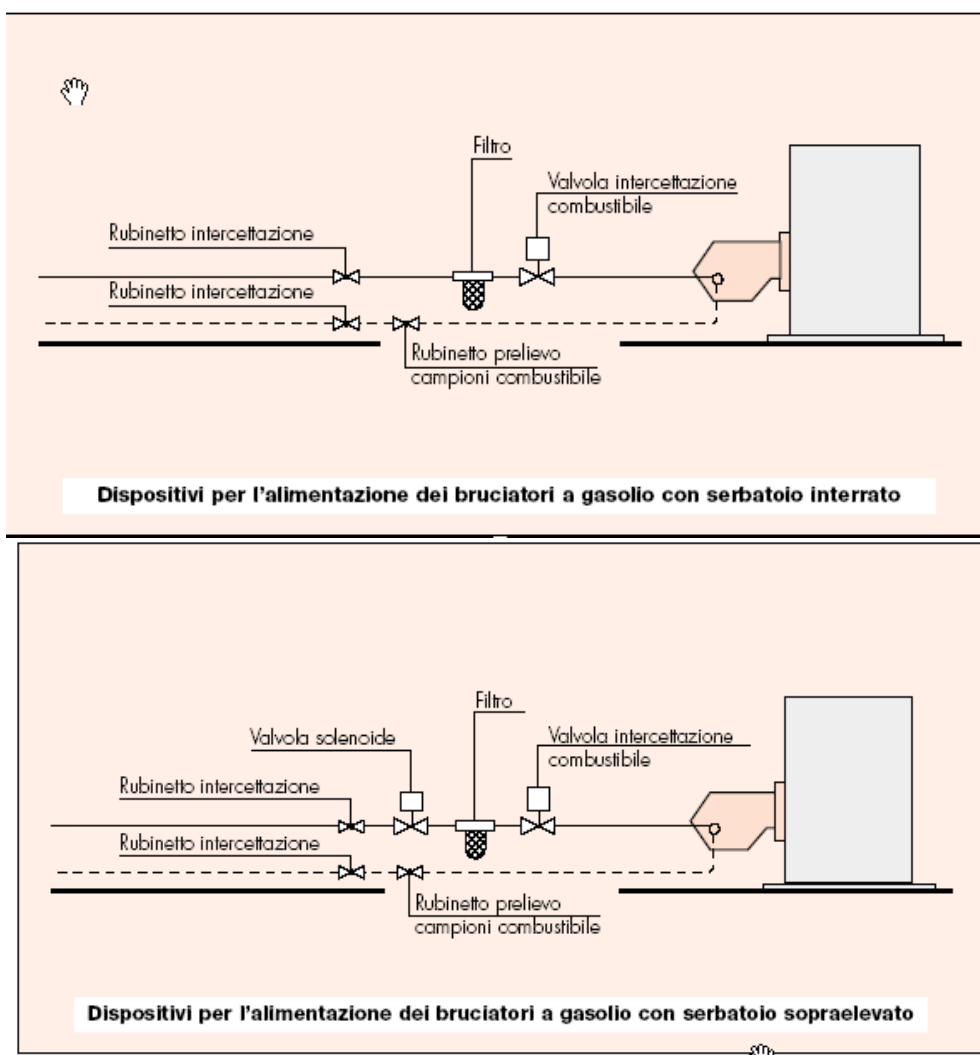


Figura 217: Schemi di installazione dei bruciatori a gasolio

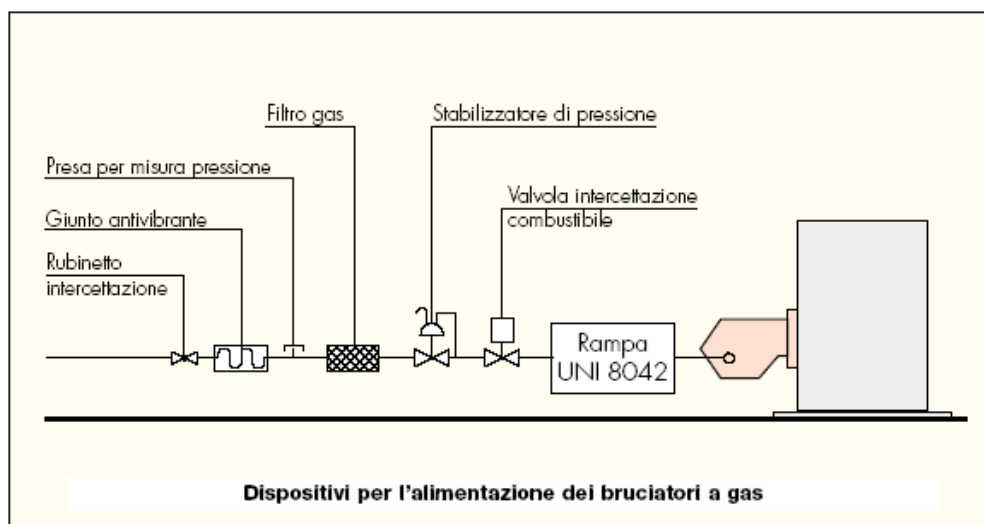


Figura 218: Schema di installazione dei bruciatori a gas

11.4.2 SELEZIONE DEI BRUCIATORI

Come tutti i componenti di impianto anche i bruciatori si selezionano da catalogo commerciale in funzione della potenza da fornire al focolare e al tipo di combustibile.

Il costruttore fornisce, per l'elemento selezionato, la portata di alimento del combustibile, la potenza elettrica degli accessori, la produzione di CO ed NOx ed il campo di pressione. E' importante anche il grado di protezione elettrica IP. Lavori utili possono essere anche i livelli di rumorosità prodotta.

Tipo							
Potenza termica min - max *	kW	18÷23	22÷27	26÷35,5	34÷40	39÷44	43÷52
(secondo EN 267)	Mcal/h	15,5÷19,8	18,9÷23,2	22,4÷30,5	29,4÷34,4	33,5÷37,8	37÷44,7
Portata min - max *	kg/h	1,5÷1,9	1,8÷2,3	2,2÷3,0	2,9÷3,4	3,3÷3,7	3,6÷4,4
Combustibile		gasolio	gasolio	gasolio	gasolio	gasolio	gasolio
potere calorifico inferiore	kWh/kg	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86
	Mcal/kg	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
densità	kg/dm³	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
viscosità a 20°C max	mm²/s	6	6	6	6	6	6
Impiego standard		caldaie ad acqua, a vapore, ad olio diatermico					
CO ***	mg/kWh	7	4	1	3	1	3
NOx ***	mg/kWh	94	81	87	84	90	91
Alimentazione elettrica	V/Hz	230V ±10%/50					
Motore elettrico	rpm	2800	2800	2800	2800	2800	2800
	A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Trasformatore d'accensione	kV	8	8	8	8	8	8
	mA	22	22	22	22	22	22
Pompa campo di pressione	bar	8÷15	8÷15	8÷15	8÷15	8÷15	8÷15
Pot. elettrica assorbita max	kW	0,261	0,261	0,300	0,300	0,300	0,300
Grado di protezione elettrica	IP	40	40	40	40	40	40
Rumorosità **	dB(A)	<60	<60	<60	<60	<60	<60
Peso	kg	15	15	15	15	20	20

Figura 219: Esempio di catalogo commerciale per bruciatori di bassa potenza

11.5 SISTEMA GENERATORE – CAMINO

I generatori di calore visti nei precedenti paragrafi sono in pratica costituiti da un bruciatore (elemento attivo) ed uno scambiatore di calore (mantello della caldaia) che fornisce il calore generato dai prodotti di combustione all'acqua di riscaldamento. Il circuito *aria – fumi* assume

notevole importanza ai fini impiantistici. Come si può osservare in Figura 220, l'aria esterna a pressione atmosferica viene inviata al bruciatore nel quale si ha la reazione di combustione con il combustibile formando i fumi che proseguono, attraverso il generatore nel quale cedono la potenza termica Q , fino all'atmosfera attraverso il camino.

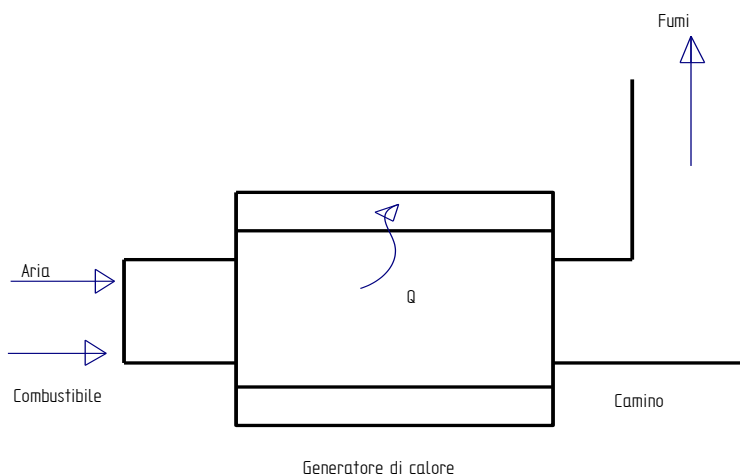


Figura 220: Sistema Generatore – Camino

Il circuito è aperto e la pressione di funzionamento è circa quella atmosferica (condizioni iniziali e finali). Si possono avere tre casi:

- **Circuito dei fumi pressurizzato:** si ha una ventola in ingresso al generatore che pone sotto una leggera pressione il circuito dei fumi, come evidenziato in Figura 222. Questa soluzione favorisce lo smaltimento dei fumi al camino ed è indicata per generatori di potenzialità medio - grande. Questa soluzione richiede tenute di sovrappressione per evitare la fuoriuscita dei fumi lateralmente.
- **Circuito dei fumi depressurizzato:** non si ha la ventola nel bruciatore e l'andamento delle pressioni è del tipo indicato in Figura 223. In uscita dal generatore si ha una leggera depressione generata dalle perdite di attraversamento. In questo caso occorre inserire un ventilatore in uscita dal generatore per far uscire i fumi dal camino. Questa soluzione può provocare l'immissione di aria nel circuito dei fumi e quindi occorre sigillare attentamente il generatore. La depressione può essere creata anche dal camino. Questa tipologia di impianto va bene per piccoli generatori.
- **Circuito dei fumi equilibrato:** in questo caso si hanno due ventilatori, uno in ingresso nel bruciatore ed uno in uscita alla base del camino, che fanno in modo da equilibrare le pressioni all'interno del generatore di calore, come indicato in Figura 224. Questa tipologia di impianto va bene per grandi generatori e consente di controllare molto bene la portata dei fumi di scarico al camino. Occorre avere tenute molto buone sia per la sovrappressione che per la depressione.

11.5.1 IL CAMINO

E' il condotto di scarico dei prodotti della combustione dal generatore all'atmosfera. Esso deve garantire di smaltire la portata dei fumi prodotta in modo da scaricarla in una posizione che non sia nociva⁵⁸ all'ambiente.

⁵⁸ Questa definizione è pleonastica poiché l'immissione di scarichi gassosi in atmosfera è sempre dannosa per l'ambiente. In realtà qui si vuole indicare un danno immediato per le persone se lo scarico avviene in loro vicinanza.

Occorre che i camini abbiano un'altezza adeguata in modo tale che i prodotti della combustione possano ricadere al suolo in lontananza e in ogni caso essa deve garantire che la concentrazione a terra degli inquinanti sia inferiore ai limiti consentiti dalla Legge. Il camino è in genere formato dal tratto orizzontale (o anche inclinato) di collegamento al generatore e dal tratto verticale.

Ai fini del calcolo ci interessa il tratto verticale che deve garantire un adeguato *tiraggio* per lo scarico dei prodotti della combustione. Se si hanno sistemi in sovrappressione (*camini ventilati*) le condizioni di funzionamento risultano più agevoli e non si hanno vincoli eccessivi per il progetto. In caso contrario occorre fare in modo che l'altezza del camino, nelle condizioni operative in cui si trova, garantisca la forza motrice necessaria a portare la portata dei fumi nell'atmosfera.

Con riferimento alla Figura 225 nel quale si suppone che la densità dei fumi sia inferiore a quella dell'aria, la prevalenza motrice (o *tiraggio*) ha la seguente espressione:

$$\delta p_{st} = gz(\rho_a - \rho_f) \quad [74]$$

dove:

z è la differenza di quota fra z_2 (ove la pressione è quella p_2 dell'aria esterna) e z_1 (in cui è idealmente posto il setto di separazione tra le due colonne a diversa densità).

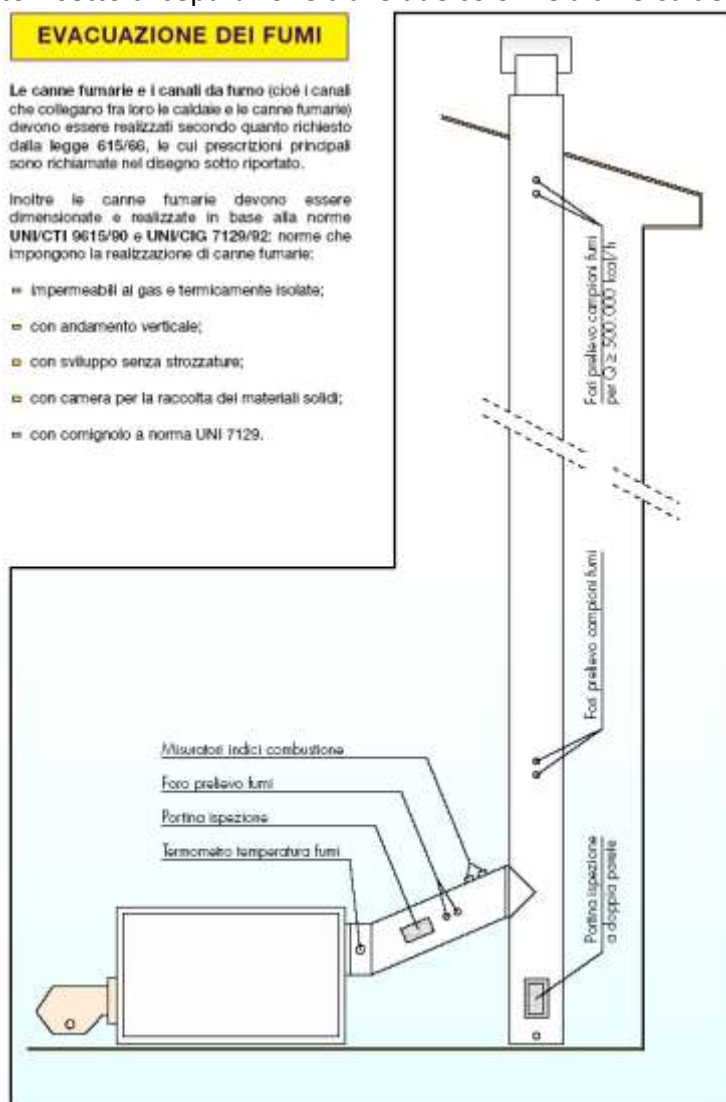


Figura 221: Sistema Generatore – Camino

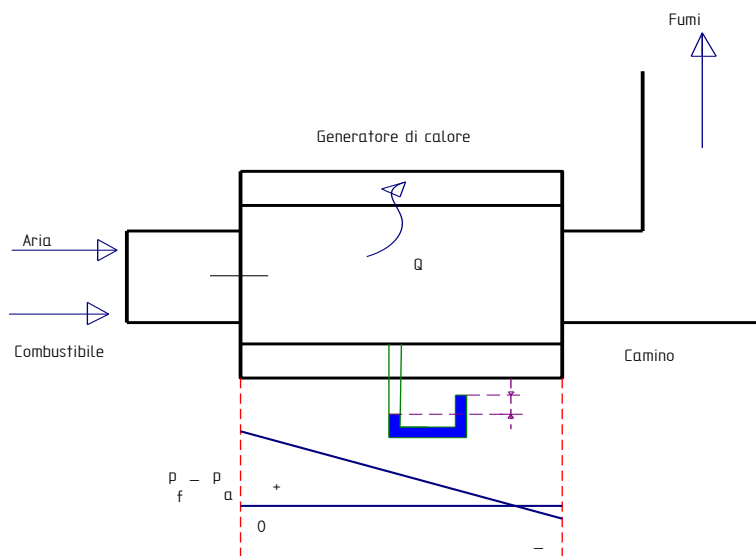


Figura 222: Circuito dei fumi pressurizzato

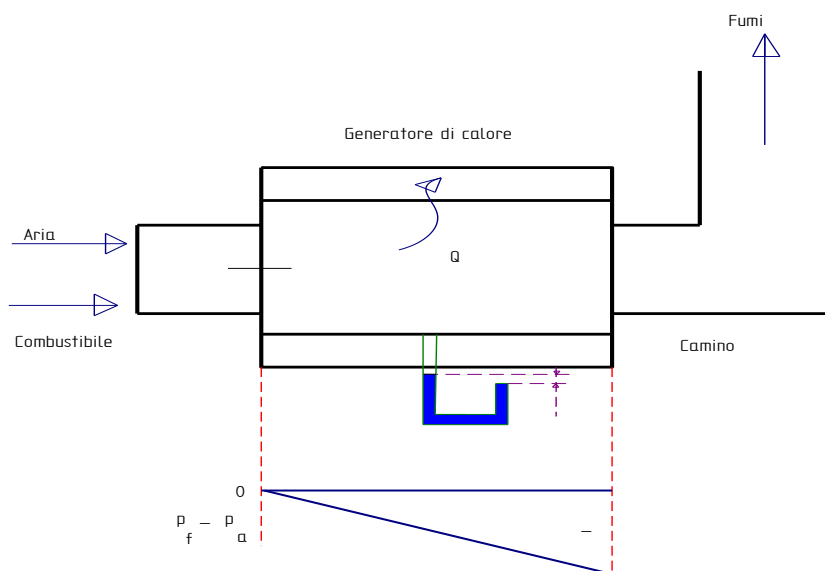


Figura 223: Circuito dei fumi depressurizzato

Questa relazione si può scrivere in modo più utile facendo l'ipotesi che l'aria e i fumi seguano la legge dei gas perfetti con eguale costante di elasticità nell'equazione di stato. La densità dell'aria si calcola con la relazione:

$$\frac{p}{\rho_a T} = \frac{p_r}{\rho_{ar} T_r}$$

ove $\rho_{ar} = 1.293 \text{ kg/m}^3$ per $T_r = 273 \text{ K}$ e $p_r = 1.013 \text{ bar}$.

In Figura 226 si ha l'andamento del tiraggio statico (in Pa) riferito all'altezza in funzione della temperatura dei fumi per due valori della temperatura dell'aria. Nel funzionamento di un generatore, Figura 227, il tiraggio può essere naturale o forzato.

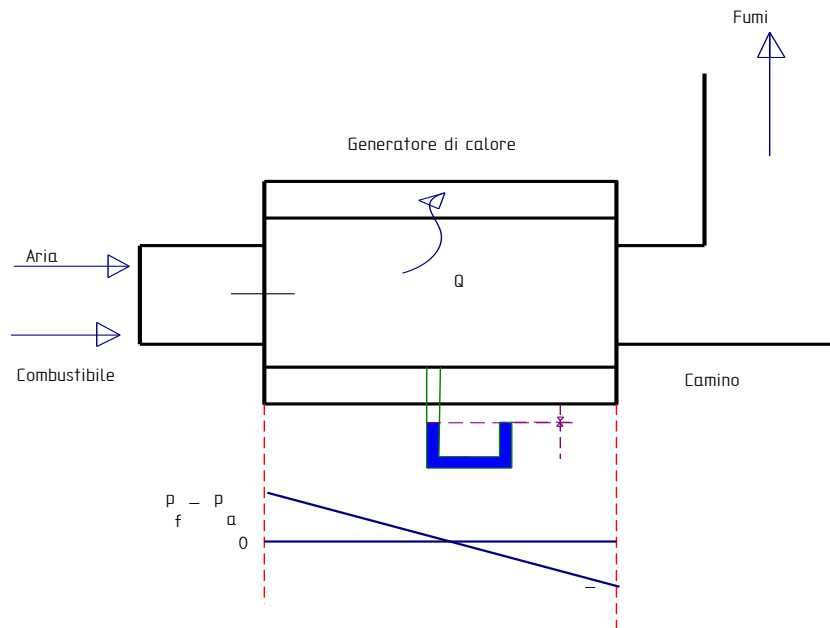


Figura 224: Circuito dei fumi equilibrato

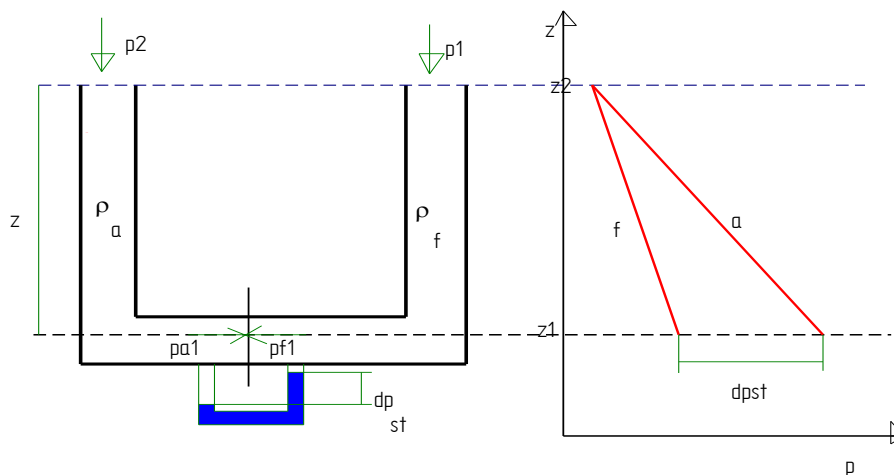


Figura 225: Schema di funzionamento del camino

$$\delta p_{st} = g z \rho_a \left(1 - \frac{T_a}{T_f} \right) \quad [75]$$

Tiraggio Naturale

In questo caso il moto dei fumi avviene solamente per effetto della *driving force* generata alla differenza di densità tra l'aria esterna e i prodotti di combustione.

Questa differenza di densità si mantiene grazie al fatto che l'atmosfera si comporta come un serbatoio termodinamico per cui la sua temperatura e densità non variano pur ricevendo i fumi dal camino.

In Figura 227 è segnato anche un condotto di aspirazione che genera un battente di pressione per effetto della quota z ma nella realtà questo condotto non viene inserito poiché l'atmosfera garantisce l'effetto di pressione esterna.

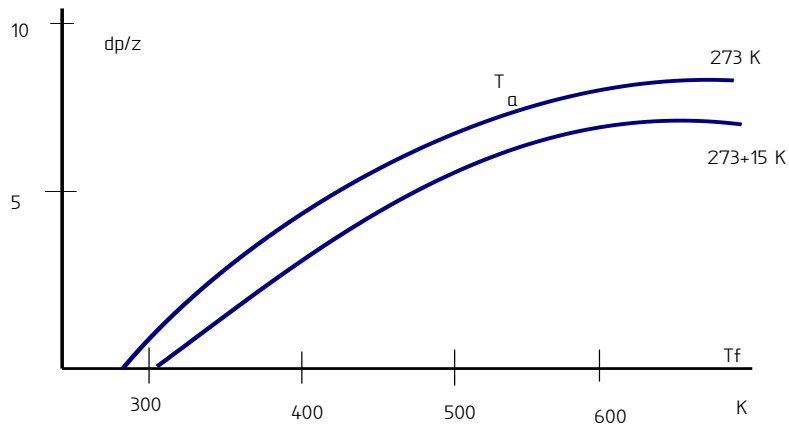


Figura 226: Tiraggio statico in funzione della temperatura dei fumi

Applicando l'equazione di Bernoulli al camino fra le sezioni 1 e 2 di Figura 227, supponendo per il momento un tiraggio naturale (per cui non vi è lavoro esterno, $l=0$) si ha:

$$v_f (p_2 - p_1) + g(z_2 - z_1) + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + R_{12} = 0 \quad [76]$$

Possiamo riscrivere questa equazione nella forma:

$$(p_2 - p_{1e}) + (p_{1e} - p_1) + \rho_f g(z_2 - z_1) + \rho_f \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \rho_f R_{12} = 0 \quad [77]$$

ove si è posto p_{1e} la pressione alla quota 1 nell'aria esterna al camino.

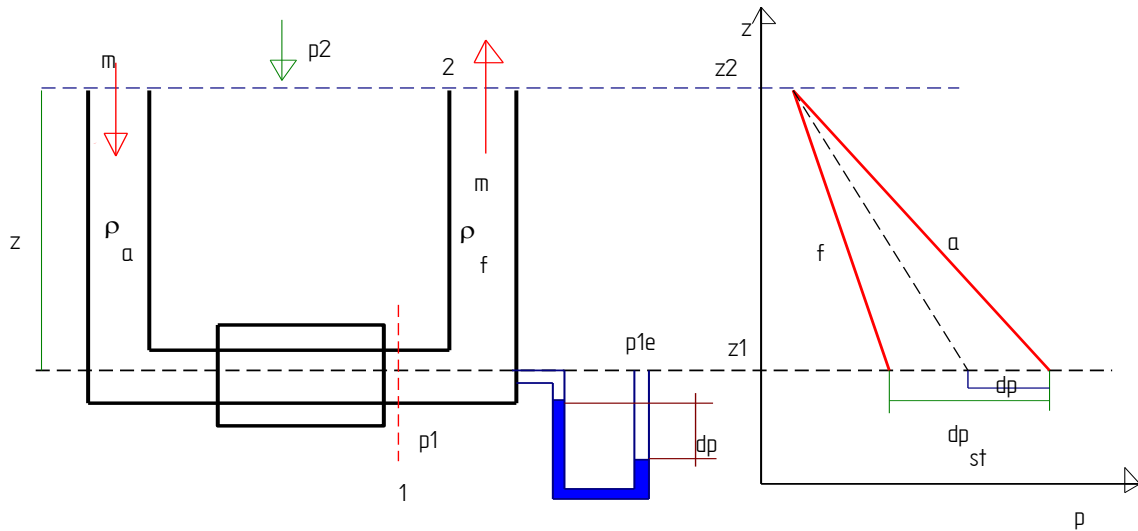


Figura 227: Tiraggio nel sistema generatore – camino

Indicando con:

$$\delta p = p_{1e} - p_1 \quad [78]$$

e ricordando che è:

$$p_2 - p_{1e} = -gz\rho_a \quad [79]$$

si ottiene l'equazione:

$$-gz(\rho_a - \rho_f) + \delta p + \rho_f \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \rho_f R_{12} = 0 \quad [80]$$

da cui ricaviamo δp :

$$\delta p = \delta p_{st} - \rho_f R_{12} - \rho_f \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} \quad [81]$$

Pertanto il *tiraggio* δp è pari al tiraggio statico δp_{st} diminuito della resistenza al moto dei fumi nel camino e del termine cinetico che risulta positivo se $w_2 > w_1$ come deve essere per favorire la diffusione dei fumi in atmosfera. La [81] può riscriversi in forma diversa, più utile per le applicazioni:

$$\delta p = gz\rho_a \left(1 - \frac{T_a}{T_f} \right) - \xi \frac{L_{eq}}{D_{eq}} \frac{\dot{m}_f^2}{2\rho_f A_1^2} - \frac{\dot{m}_f^2}{2\rho_f A_1^2} \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right) \quad [82]$$

dove:

- T_a temperatura dell'aria esterna
- T_f temperatura media dei fumi lungo L_{eq}
- A_1 area della sezione 1
- A_2 area della sezione 2
- L_{eq} lunghezza equivalente del camino per tutta la lunghezza del percorso dei fumi ($L_{eq} > z$) e delle resistenze concentrate espresse come lunghezze equivalenti per perdite distribuite
- D_{eq} diametro equivalente della sezione del camino.

La [82] si risolve iterativamente poiché il camino non è adiabatico e quindi la temperatura media T_f non è un dato iniziale noto ma dipende dalle dispersioni termiche della parete del camino che sono legate al coefficiente di convezione interna fumi – parete che dipende dalla portata stessa dei fumi. Al crescere della portata dei fumi la resistenza al moto cresce fino ad annullare il tiraggio. Lo stesso avviene se si diminuisce il diametro del camino.

Tiraggio Forzato

In questo caso fra le sezioni 1 e 2 vi è un ventilatore che aiuta la prevalenza statica del camino. La [81] ora diviene:

$$\delta p - \rho_f l = \delta p_{st} - \rho_f R_{12} - \rho_f \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} \quad [83]$$

Se il ventilatore è inserito a monte della sezione 1, come avviene nei bruciatori monoblocco che contengono al loro interno un ventilatore, allora il generatore è pressurizzato e può funzionare anche a pressione nulla: $p_1 = p_{1e}$.

I costruttori di generatori termici e di bruciatori forniscono abachi per il progetto della sezione dei camini del tipo di quello riportato in Figura 229 nel quale, per data potenza nominale del bruciatore e altezza del camino si rileva la sezione ϕ circolare.

Si osservi che con tiraggio forzato la funzione del camino è solo quella di convogliare i fumi in atmosfera e non di fornire il tiraggio necessario che viene fornito dal ventilatore. In base alla norma UNI 9615 la temperatura dell'aria è posta pari a $T_a = 15 + 273 = 278$ K

La portata dei fumi è legata alla potenza nominale del bruciatore dalla relazione:

$$\dot{m}_f = \dot{Q}_n \frac{1 + n a_t}{\eta H} \approx \dot{Q}_n \frac{n a_t}{\eta H} \quad [84]$$

dove si ha:

- n indice dell'aria
- α_t aria teorica di combustione
- η rendimento del generatore di calore
- H potere calorifico inferiore del combustibile.

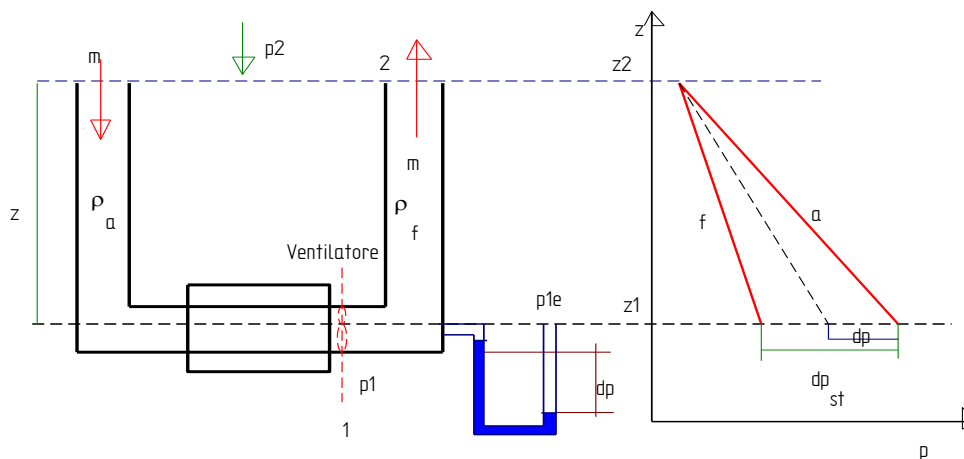


Figura 228: Schema di funzionamento per tiraggio forzato

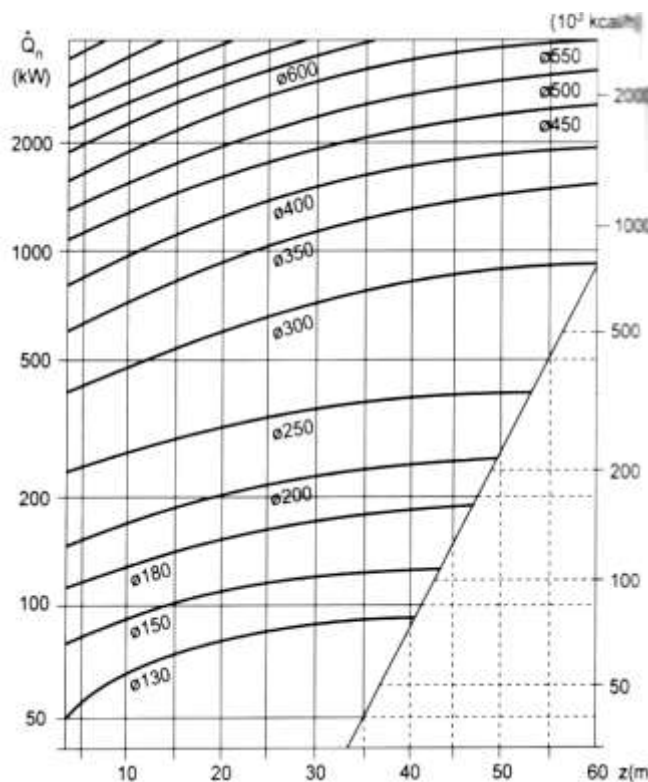


Figura 229: Abaco per la selezione dei camini commerciali in acciaio

Il rapporto $n\alpha_t / \eta H$ è circa costante per gasolio, gas naturale ed olio combustibile essendo αH sensibilmente costante. Le resistenze al moto sono calcolate assumendo $A_1 = A_2$ ed una lunghezza equivalente totale che tenga conto di curve e gomiti. La scabrezza assoluta si pone pari a 0,1 mm.

La resistenza termica del camino si pone pari (per acciaio) a $R = 0.65 \text{ m}^2\text{K/W}$. Si osservi ancora che nella trattazione sin qui svolta non si è tenuto conto di fenomeni di condensazione del vapore d'acqua nei fumi del camino. Questi vanno comunque evitati perché dannosi sia per il camino che per il generatore.

11.5.2 USO DEI CAD PER LA SELEZIONE DEI CAMINI

Anche per il progetto dei camini si possono utilizzare programmi di calcolo ad hoc che semplificano la procedura di calcolo e al tempo stesso ottimizzano i risultati.

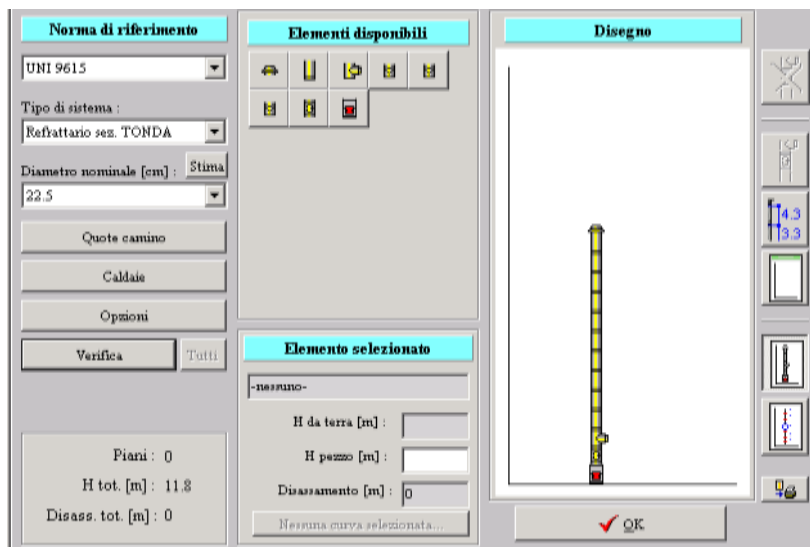


Figura 230: Esempio d'uso del CAD per i camini

In Figura 230 si ha un esempio di CAD⁵⁹ dedicato ai camini con il quale, cliccando sugli elementi in acciaio (zona degli *elementi disponibili*) si costruisce il camino. E' possibile selezionare la norma di riferimento (in figura è segnata la UNI 9615 ma è possibile selezionare anche la UNI 10640 e 10641), la caldaia (vedi Figura 232) e la sezione di verifica (Figura 231). In Figura 233 si ha la maschera di selezione delle opzioni di calcolo. Il programma consente di visualizzare i dati e le ipotesi di calcolo (vedi Figura 232) ottenendo, alla fine, la stampa del progetto, come riportato nel prosieguo.

Stampa dei risultati di calcolo

DATI DEL GENERATORE DI CALORE

Generatore e Combustibile

Tipo Caldaia :

Potenza termica nominale : 50 [kW]

Combustibile : Gasolio

Combustione :

Dimensione del foro uscita fumi dal generatore

Forma : Circolare

Dimensione (diametro?) : 0.15 [m]

Dati fisici dei fumi

Temperatura dei fumi all'uscita del generatore : 140 [°C]

Pressione alimentazione necessaria al generatore: P_w 0 [N/m²]

Percentuale di CO₂: 9.17005 [%]

Portata in massa dei fumi : 0.0328489 [kg/s]

Costante di elasticità dei fumi : 300 [m²/s²]

Calore specifico isobaro dei fumi : 1040.8 [J/kgK]

⁵⁹ Si tratta di *EasyCamini*® della Secos Engineering, Torino.

Temperatura di Rugiada dei fumi : 51.9797 [°C]

Figura 231: Stima delle sezioni per un camino

11.5.3 CANNE FUMARIE

Le canne fumarie rivestono un ruolo fondamentale e la loro progettazione è oggi regolamentata dalle norme *UNI 9615*, *UNI 10640* e *UNI 10641*. Esse debbono garantire il corretto smaltimento dei fumi senza formazione di condensa e senza inquinare l'ambiente o influire sui vicini. La sezione minima di progetto è data dalla relazione:

$$A = k \frac{Q}{\sqrt{H}} \quad [85]$$

ove:

- Q è la potenzialità della caldaia, kW o kcal/h;
- H è l'altezza netta della canna fumaria, m
- A la sezione della canna fumaria, m².

Figura 232: Selezione di una caldaia per il progetto dei camini

Il fattore k dipende dal tipo di combustibile utilizzato:

- $K = 0.025$ per combustibili solidi,
- $K = 0.015$ per combustibili liquidi.

Opzioni generali...

Camino Co (z) comignolo: 0.25 Co (z) aggiuntivo: 0.1 Co (z) totale : 0.1 Resist. termica parete condotto primario: 0.65 Resist. termica parete condotto secondario: 0 Rugosità [m]: 0.002 Imposta default Calcola resistenza parete...		Ambiente esterno Altezza geodetica [m]: 200 Press. aria esterna [Pa]: 94600 T esterna (rugiada) [°C]: -5 T esterna (tiraggio) [°C]: 20	
Altre opzioni Coeff. secur. SE: 1.2 Coeff. temp. non cost. SH1: 0.5 Coeff. temp. non cost. SH2: 1		Canale/i da fumo Diametro [mm]: 150 Resist. termica parete: 0.45 Rugosità predefinita [m]: 0.001	

OK

Figura 233: Selezione delle opzioni per il progetto dei camini

Generatore di calore

Potenza nominale: 50 kW	Combustibile: Gasolio
Percentuale CO2: 9.17 %	Combustione: Pressurizzata

Sezione uscita fumi Forma: Circolare Area: 0.0177 m ² Diametro: 150 mm Perimetro: 0.471 m	Temperatura fumi: 140 °C Portata fumi: 0.03 kg/s P. scarico fumi: 0 Pa P. aria comburente: 4 Pa Temperatura rugiada: 52 °C

OK Cancel Help

Figura 234: Verifica dei dati di calcolo

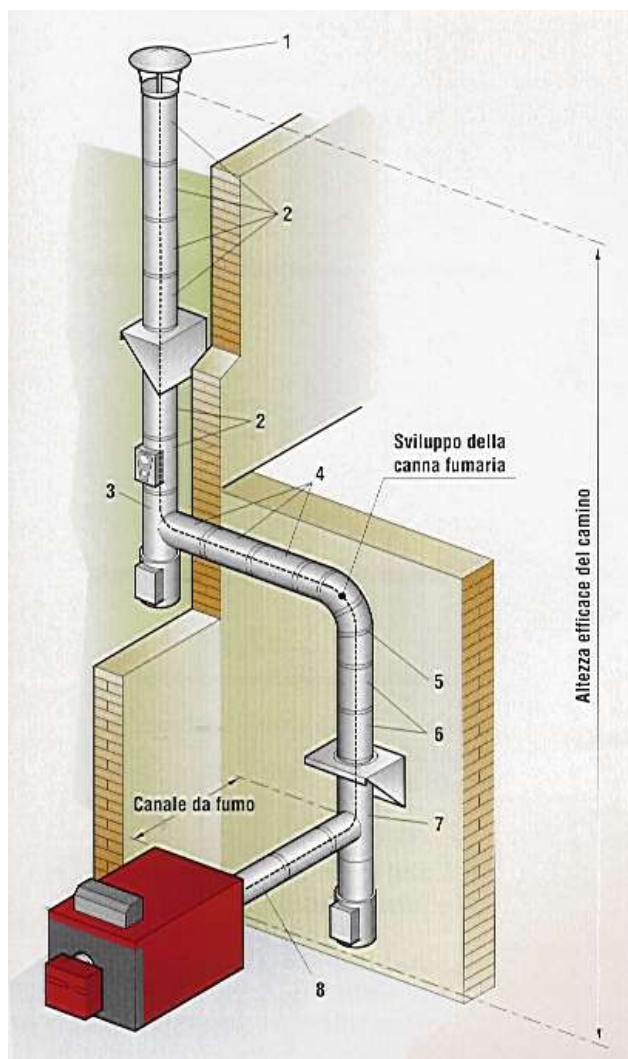


Figura 235: Disposizione corretta di una canna fumaria

Per caldaie pressurizzate (cioè con combustione ventilata e controllata da una ventola nel bruciatore) si sceglie $K = 0.01$. Per caldaie a gas si hanno opportune tabelle in funzione della potenzialità della caldaia e dell'altezza H . L'altezza da considerare nella precedente relazione è quella netta data dalla differenza fra il dislivello comignolo – caldaia e 0.5 m per ogni curva lungo il percorso. Se le canne fumarie servono più impianti occorre garantire il corretto funzionamento di ciascuna caldaia senza riversamenti di fumi. In Figura 235 si ha lo schema di montaggio corretto di una canna fumaria: sono visibili in basso il tronchetto di ispezione con lo sportello apribile, gli ancoraggi, le curve e gli elementi terminali di protezione dalla pioggia.

11.5.4 CLASSIFICAZIONE DEI BRUCIATORI

Essi bruciano il combustibile (*solido, liquido o gassoso*) generando i prodotti di combustione che, con percorsi interni al generatore, riscaldano il fluido. Si hanno diverse classificazioni ma qui si presenta la classificazione commerciale.

Bruciatori Atmosferici

Sono apparecchi a combustibile gassoso con premiscelazione di aria e combustibile a pressione atmosferica, vedi Figura 236. Il combustibile effluisce da un ugello con portata dipendente dalla pressione di alimentazione. Il getto di gas perviene in un condotto a forma di tubo Venturi nel quale si determina anche l'aspirazione per induzione della portata d'aria di combustione, $\dot{m}_{a1}$.

La miscela di gas ed aria primaria percorre il condotto fino alla zona di efflusso dove, a contatto con una superficie porosa, si ha formazione di fiammelle con combustione quasi completa. Questi bruciatori non hanno organi in movimento e possono realizzare potenze fino a 500 kW/m^2 di superficie porosa.

Bruciatori Premiscelati

Questi bruciatori non sono atmosferici poiché hanno all'interno un ventilatore che forniscono una pressurizzazione alla caldaia. Essi sono più compatti e sono meno influenzati dalle variazioni di tiraggio al camino proprio per la pressurizzazione che possono realizzare, vedi Figura 237. In questi bruciatori il moto dell'aria è determinato dalla presenza di un ventilatore che serve a vincere le resistenza al moto dello stesso bruciatore e a pressurizzare la camera di combustione.

Il combustibile effluisce dall'ugello U con un getto conico che induce una corrente d'aria controllata dal deflettore D. La fiamma di combustione emerge dalla testa di combustione T. Davanti a D si crea una depressione che provoca un moto di ricircolo interno che trasporta prodotti di combustione caldi nella zona di efflusso del combustibile determinando l'accensione e la formazione di una fiamma stabile. I bruciatori ad aria soffziata vengono prodotti in grande serie e in versione monoblocco per un campo di utenze che vanno da 10 a 5000 kW di potenza al focolaio con combustibili sia liquidi che gassosi. Per potenze industriali (oltre 10 MW) si costruiscono bruciatori specifici anche a più getti.

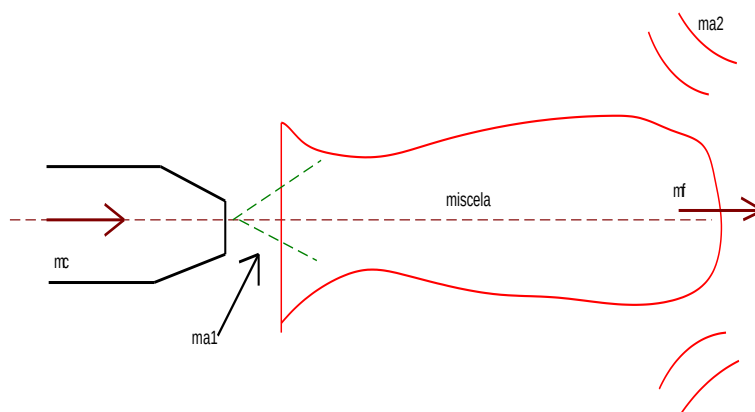


Figura 236: Bruciatore atmosferico

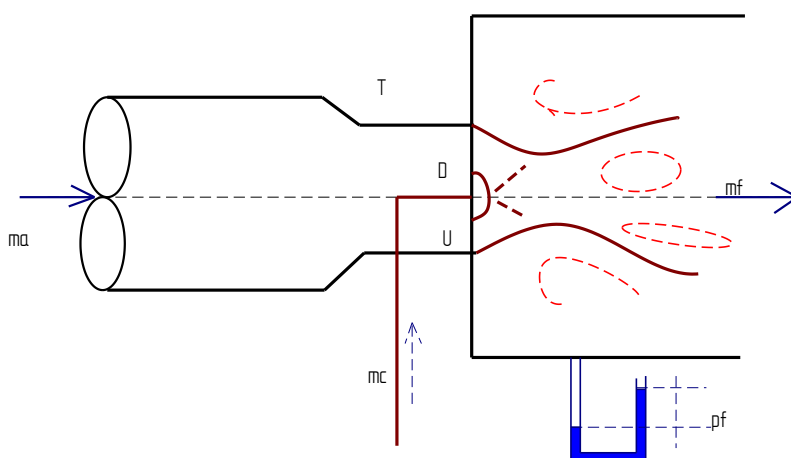


Figura 237: Bruciatore ad aria soffziata

11.6 CENTRALI TERMICHE

Le centrali termiche debbono ospitare le caldaie e molti dei componenti di impianto (pompe di circolazione, vasi di espansione, organi di controllo, ...) e pertanto debbono soddisfare ad alcune regole sia dimensionali che funzionali. Le centrali termiche debbono sempre avere almeno una parete in comunicazione con il cielo aperto, debbono essere accessibili dai VV.F. dall'esterno ed avere almeno una parete cedevole.

Le dimensioni debbono essere tali da lasciare, attorno alla o alle caldaie ospitate, almeno 70 cm di spazio per la pulizia e la manutenzione ed una superficie capace di accettare tutte le apparecchiature presenti in modo da consentire, sempre, la manutenzione e la sostituzione dei componenti. Di solito si assegnano dimensioni minime che possono essere desunte dalla seguente Tabella 55:

Potenzialità Termica		Superficie della Centrale Termica
(kW)	(kcal/h)	(m ²)
116	100000	20
232	200000	25
464	400000	40
696	600000	50
1160	1000000	70

Tabella 55: Dimensioni minime consigliate per le centrali termiche

Le norme impongono che si utilizzino più generatori di calore se la potenzialità globale dell'impianto supera 464 kW (400000 kcal/h).

L'altezza della centrale termica deve essere di almeno 2.5 m e le aperture di ventilazione debbono consentire la corretta combustione. Le dimensioni delle aperture dipendono dal tipo di combustibile utilizzato. In ogni caso non debbono aversi dimensioni inferiori ad 1/30 della superficie in pianta della centrale.

Per potenzialità termica totale maggiore di 1160 kW (1000000 kcal/h) la **superficie di ventilazione** deve essere almeno 1/20 della superficie in pianta del locale.

Per caldaie alimentate a gas si impone che sia:

$$S_v = \frac{P}{100} \quad \text{in cm}^2 \quad [86]$$

con P potenzialità del generatore in kcal/h. La distanza fra pareti e caldaia a gas è incrementata ad un valore minimo di 1.30 m. In base alle nuove disposizioni contenute nel DPR 551/1999, se si utilizzano caldaie a gas di tipi B1 per singolo appartamento allora occorre prevedere una apertura di ventilazione di almeno 0,4 m².

La centrale termica non deve avere accessi da altri locali ma solo dall'esterno (*consigliato*) o da un disimpegno con almeno un lato attestato a cielo aperto ed aventi un'apertura senza serramenti verso l'esterno di almeno 0,5 m².

La centrale termica non deve essere sottostante a locali per comunità. Le porte della centrale termica debbono essere incombustibili ed autochiudenti. All'esterno della centrale deve essere posto un *interruttore generale* con sportello di vetro a rompere in modo da intercettare l'alimentazione di tutte le apparecchiature in caso di incendio.

Nella Figura 238 si ha uno schema esecutivo di centrale termica completa di organi di controllo e con produzione di acqua calda sanitaria. In Figura 239 si ha uno schema di una centrale termica per riscaldamento completa degli organi di controllo previsti dalla Raccolta "R" del DM 1.12.1975 (verifica ISPESL, vedi §12).

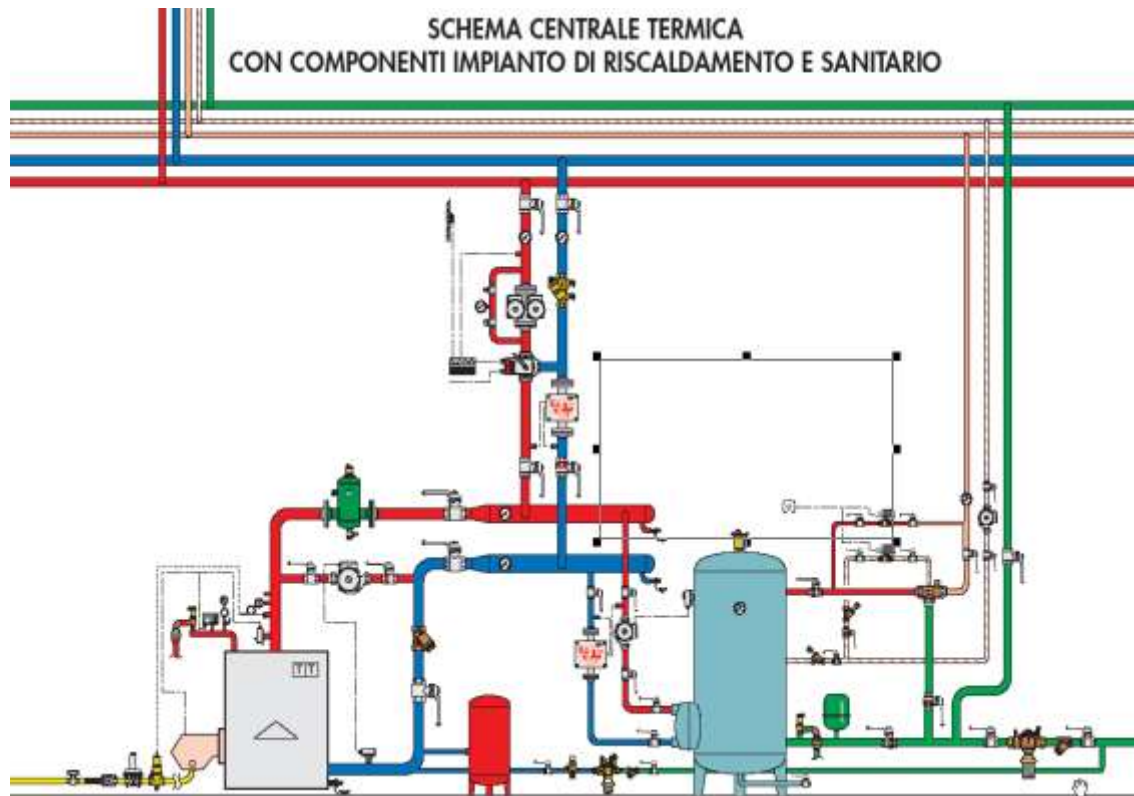


Figura 238: Schema di una centrale termica completa

Nella Figura 240 si ha un quadro sinottico delle caratteristiche costruttive delle centrali termiche a seconda della potenzialità del generatore. In Figura 241 si hanno alcune prescrizioni sulle distanze minime che i generatori di calore debbono avere dalle pareti e dal soffitto.

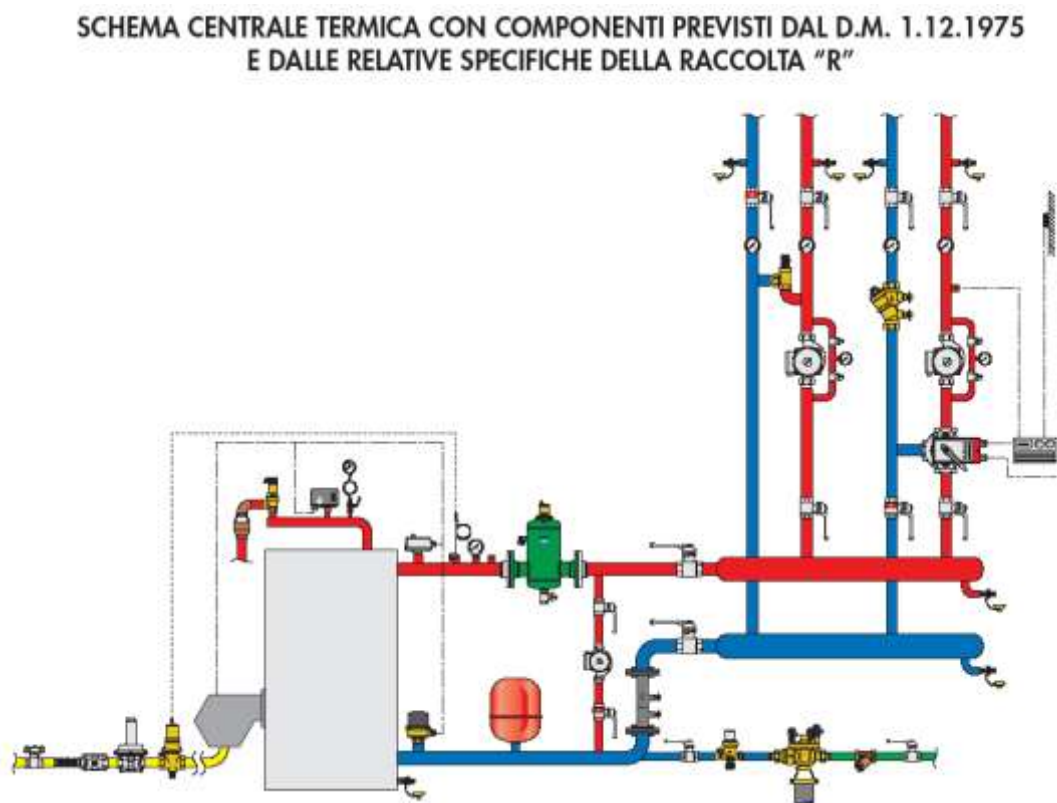


Figura 239: Schema completo di una centrale termica secondo DM 1.12.1975

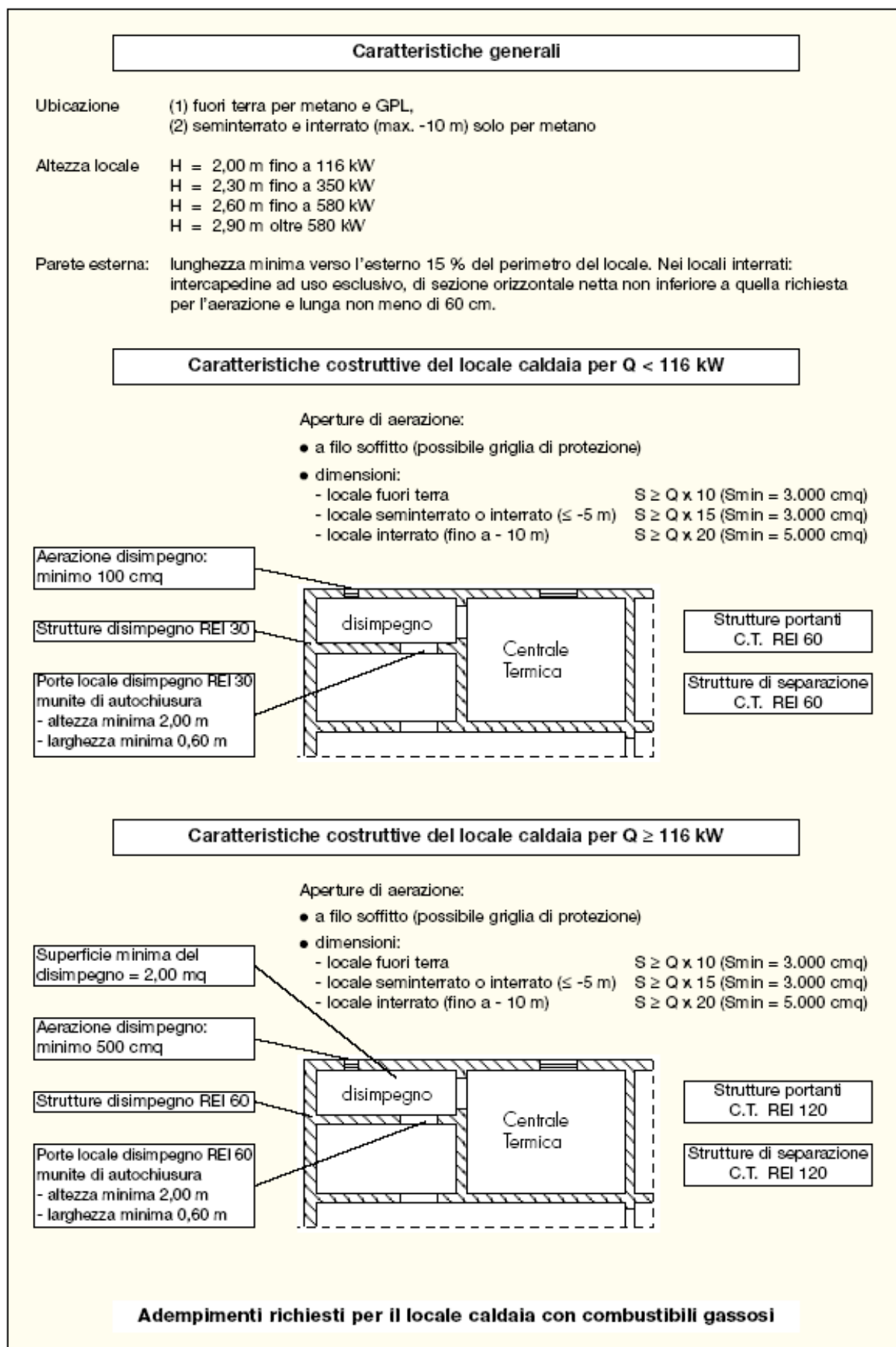


Figura 240: Caratteristiche costruttive delle centrali termiche

PRESCRIZIONI DA RISPETTARE

Possono essere suddivise in prescrizioni che riguardano la **produzione del calore** e in prescrizioni che riguardano la **sicurezza, la protezione e il controllo degli impianti**.

PRESCRIZIONI CHE RIGUARDANO LA PRODUZIONE DEL CALORE

Sinteticamente riassunte negli schemi di seguito riportati, esse stabiliscono:

1. come costruire il locale caldaia;
2. come dimensionare e realizzare i condotti per fumi;
3. quali sono le distanze da rispettare nella posa in opera delle caldaie;
4. dove installare i serbatoi per il combustibile;
5. come alimentare i bruciatori.

Sono prescrizioni contenute nell'ambito delle seguenti leggi e norme:

- **LEGGE 615 – 13.07.66**
Provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico.

- **D.P.R. 1.391 – 22.12.70**
Regolamento per l'esecuzione della Legge 615 contro l'inquinamento atmosferico.
- **CIRCOLARE 73 – 29.07.71**
Norme di sicurezza per impianti termici ad olio combustibile e gasolio.
- **UNI/CIG 8042 – 04.98**
Bruciatori di gas – prescrizioni di sicurezza.
- **UNI/CTI 9615 – 12.90**
Calcolo delle dimensioni interne dei camini.
- **D.M. – 12.04.96**
Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio degli impianti termici alimentati da combustibili gassosi (ved. Idraulica, n. 11).

PRESCRIZIONI CHE RIGUARDANO LA SICUREZZA, LA PROTEZIONE E IL CONTROLLO DEGLI IMPIANTI

In merito valgono le disposizioni dell'ISPESL, e cioè il **D.M. 1.12.75** e le relative specifiche della **Raccolta R**: disposizioni per le quali si rinvia alla vasta documentazione Caleffi, costituita da: schede tecniche, note informative di prodotto e depliant.

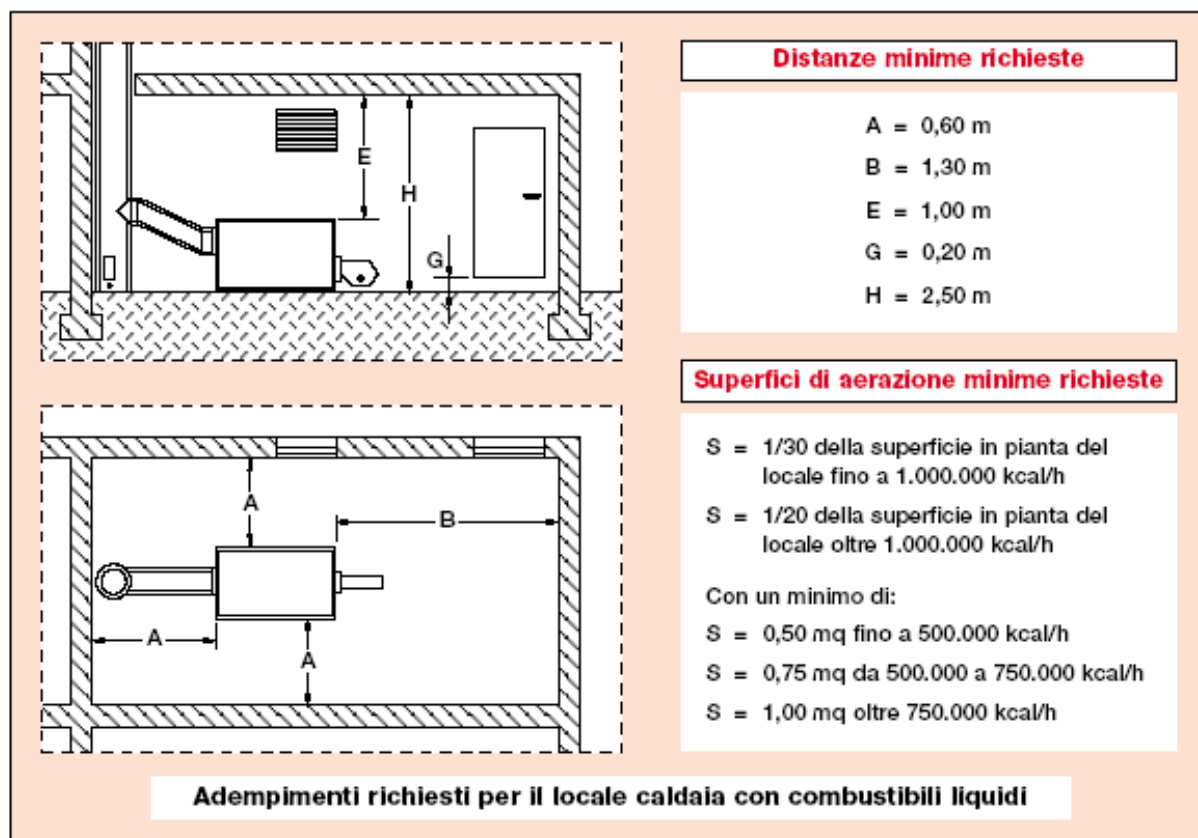


Figura 241: Prescrizioni per le Centrali Termiche

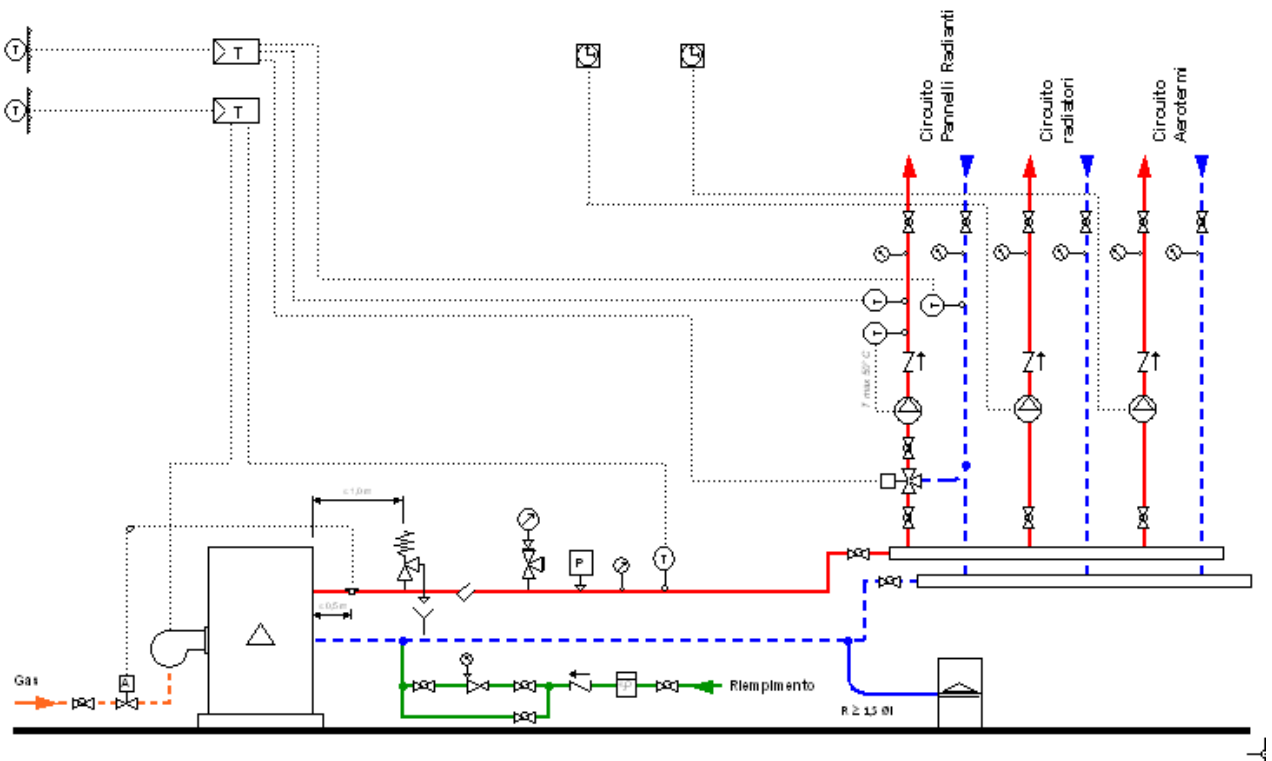


Figura 242: Schema di centrale con collettori di mandata e ritorno

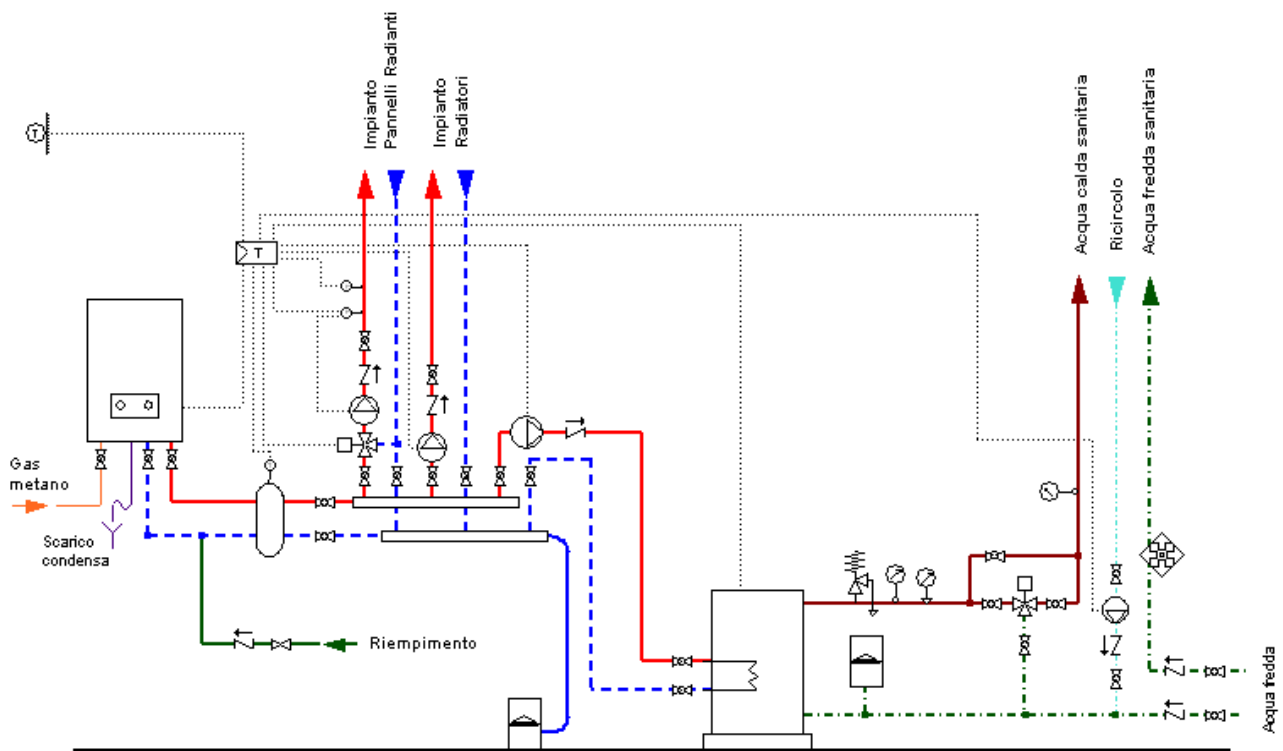


Figura 243: Schemi di centrale con bollitore ad accumulo

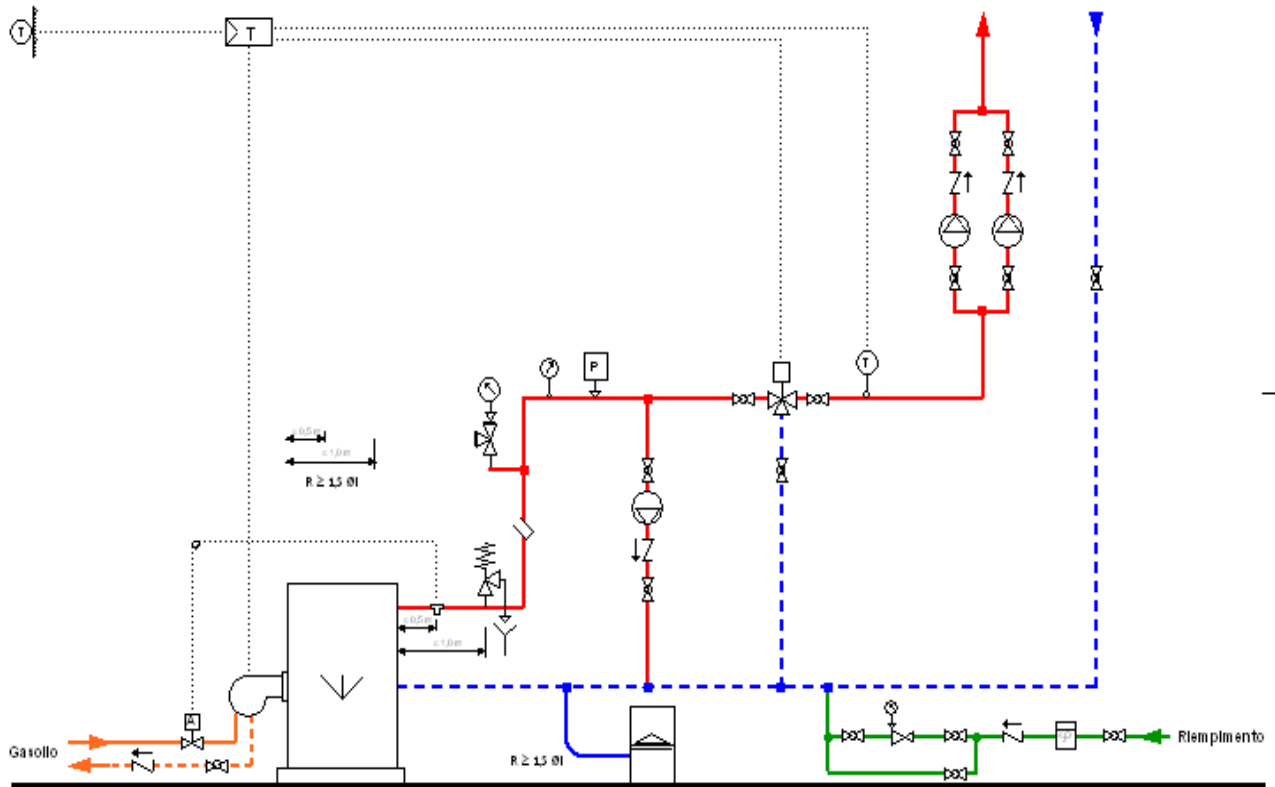


Figura 244: Schema di centrale con vaso chiuso e singolo circuito di utenza

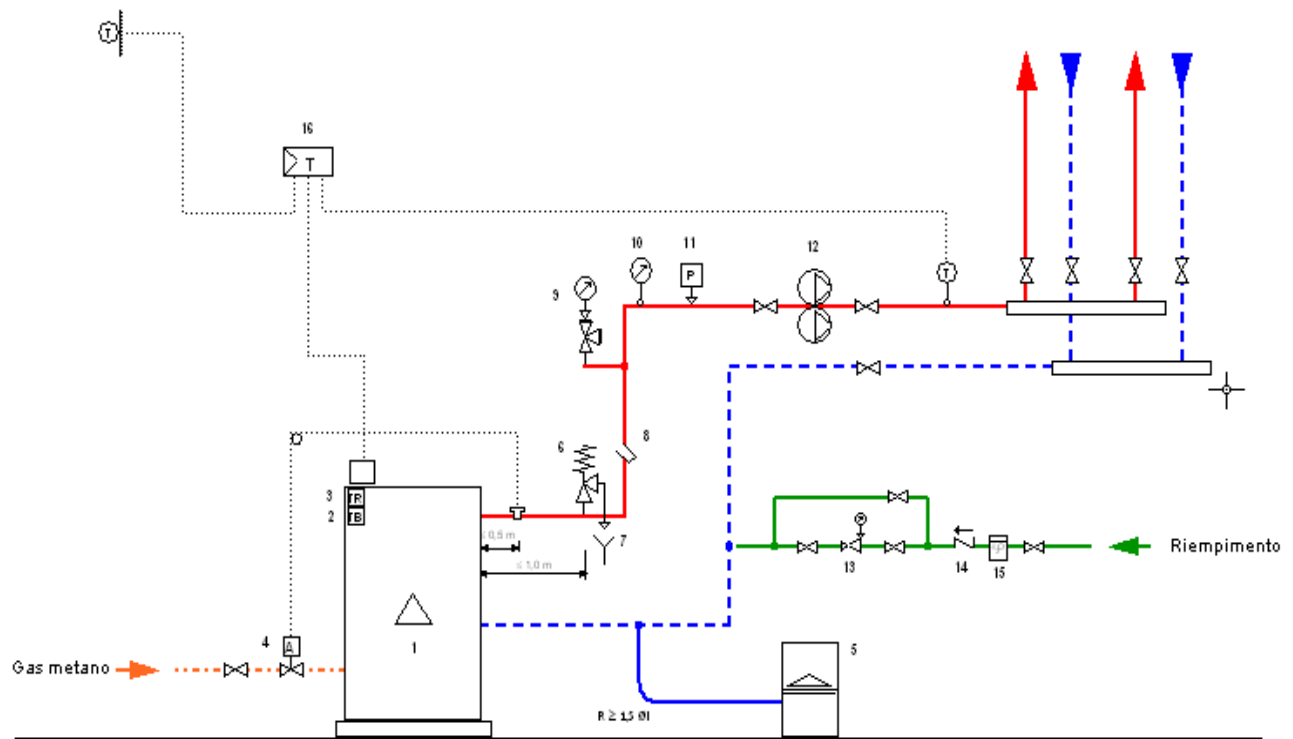


Figura 245: Schema di centrale con caldaia a gas – vaso chiuso e collettori di mandata e ritorno

11.7 GENERATORI ELETTRICI – REFRIGERATORI E POMPE DI CALORE

L'uso dell'energia elettrica per usi termici (*riscaldamento ambientale*) non è del tutto ortodosso in senso *exergetico*⁶⁰ ma sempre più spesso si ricorre ad essa per situazioni di comodo o dove non esistono impianti di riscaldamento tradizionali (a gasolio e/o a gas). A giudicare dall'evoluzione delle leggi e delle norme tecniche di questi ultimi anni si può dire che il futuro è roseo per gli impianti a pompe di calore. Il Legislatore, infatti, ha sempre più un atteggiamento premiale verso questi dispositivi elettrici che oggi hanno raggiunto una notevole maturità tecnica e commerciale.

Si possono avere sostanzialmente due forme di utilizzo dell'energia elettrica: mediante resistenze termiche o mediante macchine frigorifere (che nel riscaldamento divengono *pompe di calore*). L'uso di resistenze elettriche è oltremodo irrazionale e non giustificabile se non per usi saltuari e particolari: esso è costoso e poco efficiente. Per contro le stufe elettriche costano poco e non hanno problemi di installazione se non nella potenza elettrica massima al contatore.

Un utilizzo più razionale ed efficiente dell'energia elettrica si ha con le *pompe di calore*: si tratta, in pratica, di macchina frigorifera a compressione di vapori saturi alimentate elettricamente e che funzionano *a pompa di calore*. In Figura 248 è riportato lo schema funzionale di una macchina frigorifera/pompa di calore e il ciclo ideale di riferimento. Gli impianti frigoriferi sono discussi in un capitolo a parte, considerato il notevole interesse che hanno sia per la climatizzazione che per l'industria del freddo.

Alimentando elettricamente il compressore si ottiene freddo all'evaporatore e caldo (relativamente all'evaporatore) al condensatore. In Figura 252 si ha il layout impiantistico di un ciclo frigorifero: sono ben visibili il compressore e i due scambiatori di calore denominati *condensatore* e *evaporatore*. Pertanto se utilizziamo questa macchina ponendo l'evaporatore in corrispondenza di un serbatoio freddo (un lago, un grosso fiume, il mare, l'ambiente esterno) e il condensatore in corrispondenza di un ambiente da riscaldare allora il calore Q_2 sottratto dall'evaporatore più il lavoro L fornito al compressore si riversano, tramite il condensatore, nell'ambiente da riscaldare:

$$Q_1 = Q_2 + L \quad [87]$$

Quindi l'energia elettrica che forniamo al compressore diventa calore ambiente ma non solo questa poiché ad essa si somma anche Q_2 sottratto al serbatoio freddo. Il *coefficiente di effetto utile* ϵ' della pompa di calore (detto anche **COP** *Coefficient Of Performance*) è definito dalla relazione:

⁶⁰ Si ricorda che l'*exergia* è la massima energia primaria utilizzabile per una data quantità di calore. Nel caso sorgenti ad elevata temperatura T (quale la temperatura di fiamma nei bruciatori delle caldaie) l'*exergia* è data da $E = Q \left(1 - \frac{T_a}{T} \right)$ ove T_a è la

temperatura dell'ambiente e l'espressione in parentesi è il rendimento ideale di una macchina di Carnot che opera fra queste temperature. Nelle caldaie a gasolio e a gas bruciamo combustibile pregiato capace di generare calore a temperature elevate (dell'ordine di 1400°C) per poi degradarlo alla temperatura di 80÷90 °C per il riscaldamento degli ambienti. Il *rendimento exergetico* (rapporto fra *exergia* utilizzata e quella massima ottenibile) di questo processo è bassissimo (qualche %) e questo ci induce a riflettere sul cattivo uso che stiamo ancora facendo dell'energia termica da combustibili fossili. Il *rendimento energetico* (rapporto fra *energia* utilizzata e quella massima disponibile) è però elevato, circa il 95%, nel senso che il 95% dell'energia termica generata (non si parla più di temperatura di utilizzo!) dalla caldaia è ceduta all'acqua di riscaldamento. Per l'energia elettrica le cose sono un po' più complesse: nelle centrali elettriche viene bruciato combustibile fossile per ottenere energia meccanica utilizzata per gli alternatori elettrici che forniscono energia elettrica. Il rendimento *exergetico* di trasformazione è dell'ordine del 35÷40% e quindi buono per le attuali tecnologie. Il *rendimento energetico* è all'incirca eguale e pari a 35÷42% il che significa che riusciamo a convertire in energia elettrica circa il 40% dell'energia chimica dei combustibili fossili. L'energia che troviamo disponibile in casa nelle prese elettriche è ancora meno se teniamo conto delle perdite di distribuzione nelle linee elettriche, nei trasformatori da alta a media e da questa a bassa tensione. Diciamo che circa il 33% dell'energia chimica iniziale è disponibile nella prese elettriche di casa. Se utilizzassimo questa energia elettrica per alimentare delle normali stufe elettriche del tipo a resistenza (e quindi utilizzanti l'effetto Joule) allora cederemmo all'ambiente circa il 33% dell'energia chimica disponibile alla fonte nelle centrali elettriche e quindi di gran lunga percentualmente inferiore rispetto all'uso delle caldaie tradizionali.

$$\varepsilon = \frac{\text{Effetto}_{\text{Ottenuto}}}{\text{Energia}_{\text{Spesa}}}$$

che con il simbolismo di figura diviene:

$$\varepsilon' = \frac{Q_1}{L} = \frac{Q_2 + L}{L} = 1 + \varepsilon$$

[88]

ove è: $\varepsilon = \frac{Q_2}{L}$

I valori usuali di ε' per le macchine commerciali oggi disponibili vanno da circa 2 a circa 4 a seconda delle modalità di scambio termico nel condensatore e nell'evaporatore.

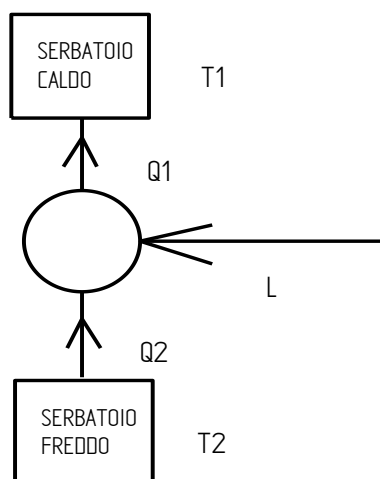


Figura 246: Ciclo inverso per la pompa di calore

Si osservi che, con riferimento ad una macchina di Carnot inversa, si definisce COP_{max} il rapporto:

$$COP_{max} = \frac{t_c + 273.15}{t_c - t_f}$$

ove:

- t_c è la temperatura della sorgente calda, °C;
- t_f è la temperatura della sorgente fredda, °C.

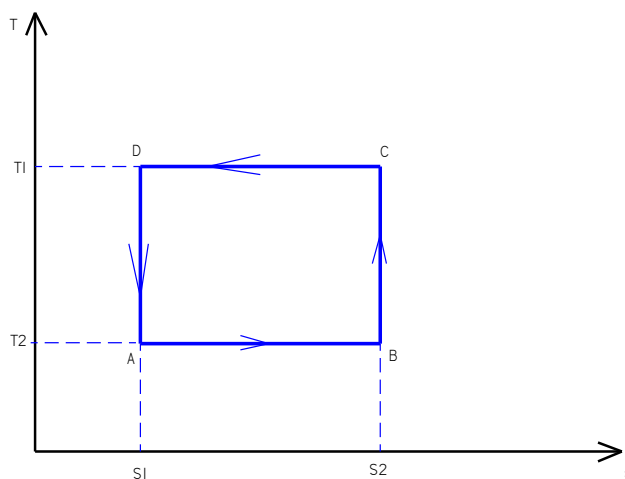


Figura 247: Ciclo di Carnot inverso

A seconda del fluido di scambio (aria o acqua) si hanno valori minimi per le pompe *aria-aria* e massimi per le pompe di grossa potenzialità del tipo *acqua-acqua*.

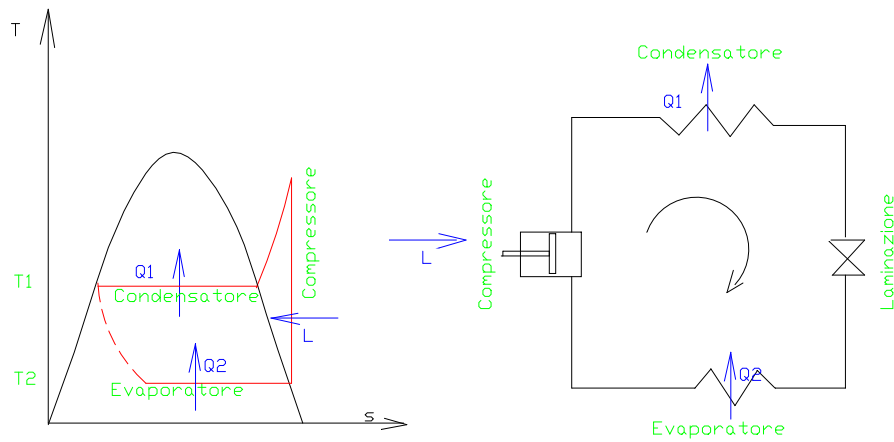


Figura 248: Schema di una macchina frigorifera e/o di una pompa di calore

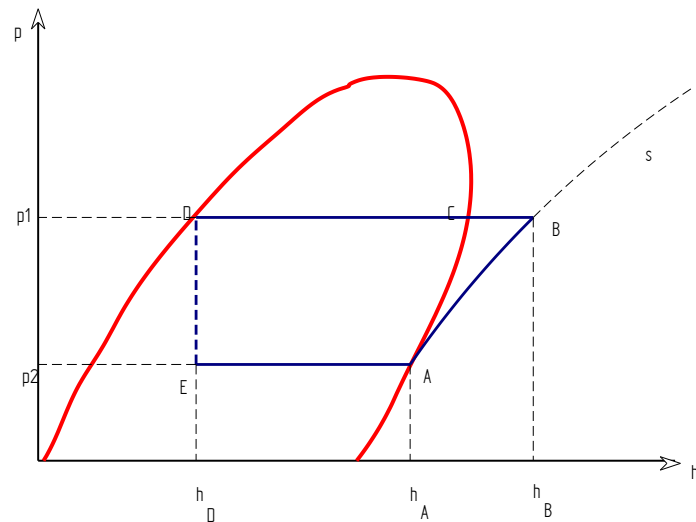


Figura 249: Ciclo frigorifero a compressione di vapore saturo nel piano (h,p)

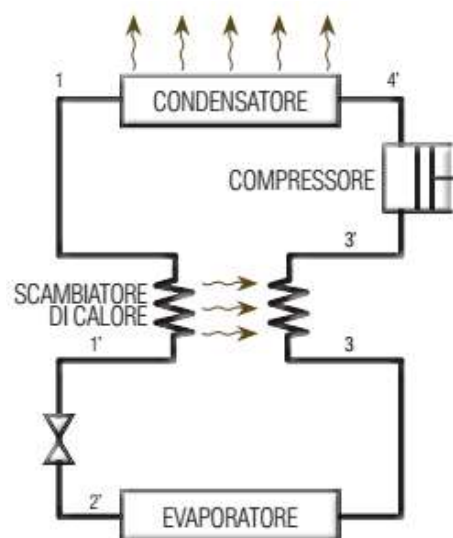


Figura 250: Ciclo frigorifero con sottoraffreddamento

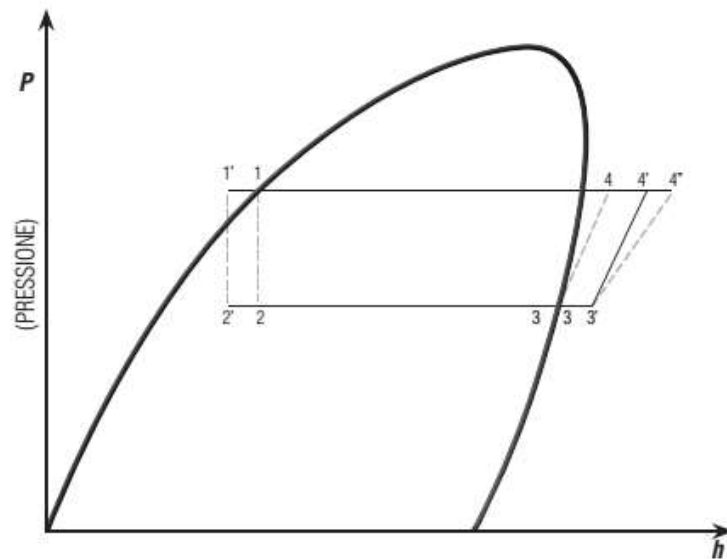


Figura 251: Ciclo frigorifero con sottoraffreddamento nel piano (h,p)

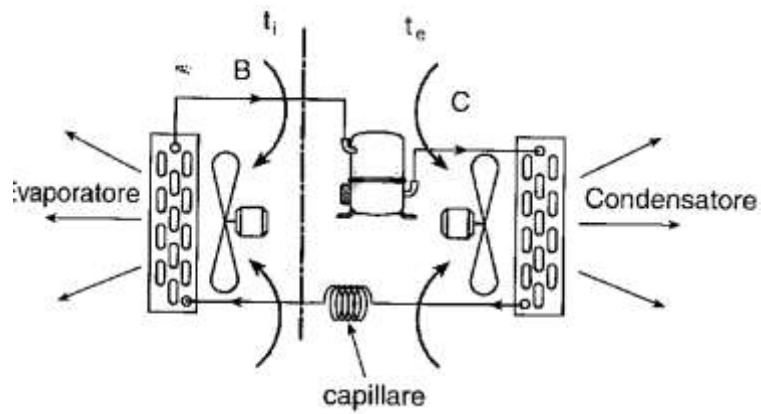


Figura 252: Schema impiantistico di un ciclo frigorifero a vapori saturi

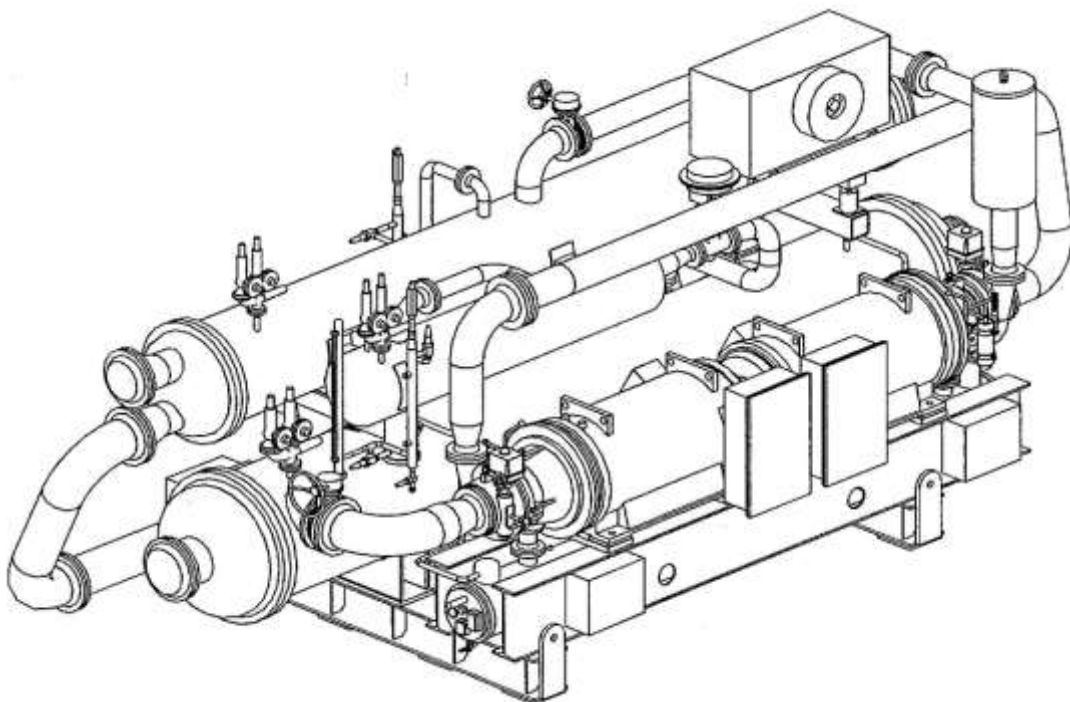


Figura 253: Assonometria di una pompa di calore del tipo acqua - acqua

Si intuisce che avere un *COP* pari a 3 significa ottenere 3 kJ di energia termica nell'ambiente da riscaldare contro 1 kJ di energia elettrica impegnata per alimentare il compressore e quindi si ha un effetto di moltiplicazione dell'energia elettrica convertita in energia termica e ciò, in qualche modo, compensa la perdita di trasformazione dell'energia termica in elettrica effettuata nelle centrali elettriche.

11.7.1 EFFICIENZA MEDIA STAGIONALE E CLASSIFICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE

Si osservi che il **COP** è riferito alle condizioni **nominali** di funzionamento. E' in fase propositiva l'**ESCOP** (*European Seasonal Coefficient of Performance*) definito come efficienza media stagionale con riferimento alle condizioni climatiche di riferimento esterne. Si definisce anche un valore medio stagionale, detto SCOP (vedi Figura 256), definito dalla relazione:

$$SCOP = \frac{\int_{stagione} Q_{\text{pozzo\_caldo}}}{\int_{stagione} L_{\text{compressore+Ausiliari}}}$$

Si vedrà nel Volume 4° sulle FER l'applicazione della Norma UNI TS 11300/4. Tale norma fissa le condizioni di riferimento per pompe di calore per solo riscaldamento o con funzionamento combinato, come indicato nella seguente tabella.

CONDIZIONI DI RIFERIMENTO PER UNA POMPA DI CALORE PER SOLO RISCALDAMENTO O FUNZIONAMENTO COMBINATO

Sorgente fredda	Temperatura sorgente fredda				Temperatura pozzo caldo riscaldamento ad aria ¹⁾	Temperatura pozzo caldo riscaldamento idronico ²⁾			Temperatura pozzo caldo produzione acs ³⁾	
Aria	-7	2	7	12	20	35	45	55	45	55
Acqua		5	10	15	20	35	45	55	45	55
Terreno/roccia	-5	0	5	10	20	35	45	55	45	55

1) Temperatura di ripresa.
 2) Per almeno una delle temperature indicate. Altri dati suggeriti: 25°C, 65°C.
 3) Per almeno una delle temperature indicate.

Tabella 56: Condizioni di riferimento per una pompa di calore per riscaldamento

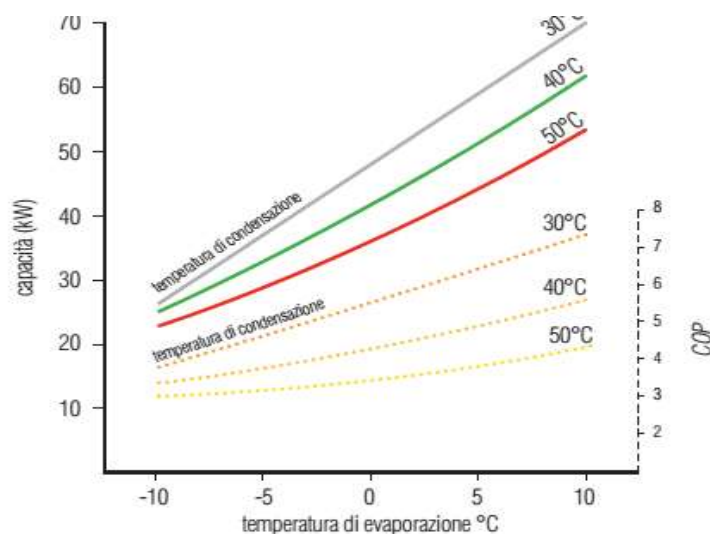


Figura 254: Andamento della potenza e COP al variare della temperatura esterna

La potenza termica delle pompe di calore dipende dalla temperatura esterna (serbatoio freddo). Ad esempio si ha la Figura 254 per pompe di calore di vari costruttori nella quale si evidenzia la variazione della potenza e del COP al variare della temperatura esterna.

A partire dall' 1 gennaio 2013, per effetto della direttiva 2005/32/CE, i calcoli delle prestazioni cambieranno da COP a SCOP e da EER a SEER. L'aggiunta della "S" indica le prestazioni stagionali raggiunte grazie alla pompa di calore. Questo nuovo sistema di calcolo stagionale permetterà all'utente di valutare meglio la reale efficienza dell'impianto di condizionamento e della pompa di calore, la cui tensione nominale non supera i 12 kW.

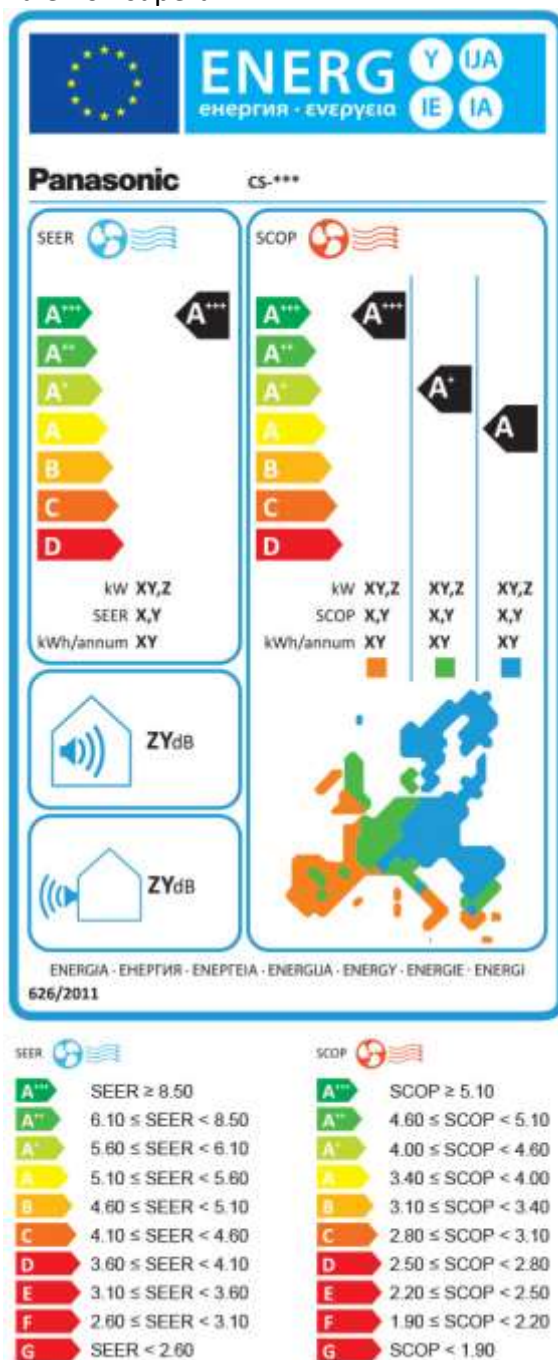


Figura 255: Nuova etichettatura dei refrigeratori e pompe di calore

Il nuovo sistema verrà adottato gradualmente, dal 1 gennaio 2013 al 1 gennaio 2019, con le seguenti scadenze per le diverse categorie di prodotto:

1 gennaio 2013: A+++, A++, A+, A, B, C, D, E, F e G.

1 gennaio 2015: A+++, A++, A+, A, B, C, D, E e F.

1 gennaio 2017: A+++, A++, A+, A, B, C, D e E.

1 gennaio 2019: A+++, A++, A+, A, B, C e D.

Indice di efficienza energetica stagionale (SEER)– rappresenta il rapporto di efficienza energetica stagionale dell'unità, rappresentativo dell'intera stagione di raffreddamento. È calcolato come il fabbisogno annuo di raffreddamento di riferimento diviso per il consumo annuo di energia elettrica a fini di raffreddamento.

Coefficiente di prestazione stagionale» (SCOP) – rappresenta il coefficiente complessivo del rendimento dell'unità, rappresentativo dell'intera stagione di riscaldamento indicato (il valore di SCOP è specifico per una data stagione di riscaldamento). È calcolato come il fabbisogno annuo di riscaldamento di riferimento diviso per il consumo annuo di energia elettrica a fini di riscaldamento.

Il costruttore può scegliere di dichiarare i dati per tutte le zone. Il clima *medio* (Average) è l'unico obbligatorio.

DATI TECNICI			HP - WARM 55	HP - WARM 70	HP - WARM 90	HP - WARM 120	HP - WARM 145
Codice			DHPI000055	DHPI000070	DHPI000090	DHPI00001C	DHPI00001F
Classe energetica Eurovent			A	A	A	A	A
RISCALDAMENTO							
Potenza termica nominale	6 °C b.u. - 7°C b.s.	kW	5,49	6,91	8,8	12	14,5
Potenza assorbibile	30/35°C	kW	1,33	1,70	2,17	2,96	3,57
COP EN 14511	Sistemi radianti		3,9	3,9	3,9	3,93	3,92
COP Eurovent			4,13	4,07	4,06	4,06	4,06
RAFFRESCAMENTO							
Potenza frigorifera	35 °C b.u. - 24°C b.s.	kW	4,17	6,24	7,96	10,2	12,9
Potenza assorbibile	23/18°C	kW	1,1	1,7	2,12	2,78	3,49
EER - EN 14511	Sistemi radianti		3,6	3,6	3,65	3,61	3,67
EER - Eurovent			3,79	3,67	3,75	3,67	3,7
ESEER			6,84	6,59	6,75	6,6	6,69
RISCALDAMENTO							
Potenza termica	6 °C b.u. - 7°C b.s.	kW	5,28	6,64	8,35	11,6	14
Potenza assorbibile	40/45°C Convettori, ventilconvettori e radiatori bassa temperatura (ΔT 22,5 K)	kW	1,64	2,07	2,61	3,61	4,38
COP - Eurovent			3,22	3,21	3,2	3,21	3,2
RAFFRESCAMENTO							
Potenza frigorifera	35 °C b.u. - 24°C b.s.	kW	3,81	5,15	6,01	8,71	11,5
Potenza assorbibile	12/7°C	kW	1,48	2	2,28	3,32	4,37
EER - Eurovent	Terminali		2,58	2,57	2,64	2,62	2,63
ESEER			4,65	4,57	4,69	4,66	4,66
SCOP - Z.C. Average	Pannelli radianti		3,72	3,62	3,68	3,8	3,88
SCOP - Z.C. Average	Terminali e radiatori B.T.		3,25	3,22	3,3	3,36	3,37
SCOP - Z.C. Warmer	Pannelli radianti		4,92	4,79	4,81	5,02	5,19
SCOP - Z.C. Warmer	Terminali e radiatori B.T.		4,48	4,43	4,47	4,59	4,58
Contenuto in peso del gas refrigerante		kg	1,3	1,9	1,9	3,5	4,9
Massima potenza assorbibile	Massime condizioni ammesse	kW	2,9	3,52	4,35	6,69	6,75
Massima corrente assorbibile		A	13	15,8	19	11,5	11,5
Alimentazione		V-Hz	230 - 50	230 - 50	230 - 50	400/3 - 50	400/3 - 50
Potenza sonora		dB (A)	62	62	63	64	67
Dimensioni		mm	895x378x992	895x378x992	895x378x992	1038x410x1234	1038x410x1234
Peso		kg	110	114	122	168	173

Figura 256: Data Sheet di una moderna pompa di calore con l'indicazione dello SCOP

11.7.2 UTILIZZO DELLE POMPE DI CALORE

L'uso delle *pompe di calore* è allora razionale e certamente ammissibile rispetto all'uso delle semplici resistenze elettriche. Oggi le pompe di calore si stanno diffondendo notevolmente grazie alla possibilità di inversione rapida del funzionamento da estivo ad invernale e viceversa che viene effettuata mediante una apposita cassetta di scambio.

Ad esempio in Figura 257 si ha un normale ciclo frigorifero aria-aria in funzionamento estivo.

In Figura 258 si ha lo stesso impianto in funzionamento invernale: si osservi come le funzioni del condensatore e dell'evaporatore siano state invertite mediante la cassetta di scambio senza dovere fisicamente scambiare le posizioni dei due scambiatori di calore.

DATI GENERALI

Serie RAX	Modello	432	532	632	732	832	1032	1232
* Potenza frigorifera	kW	94	109	127	164	191	225	266
	frig/h	80.800	93.700	109.200	141.000	164.300	193.500	229.000
* Potenza assorbita totale	kW	38,5	40,5	48,5	62,6	72,3	84,2	98
* Corrente assorbita	A	220 V 380 V	130	76	98	120	141	163
			75	98	120	141	163	182
* Portata acqua	l/s	4,49	5,21	6,07	7,83	9,13	10,75	12,72
	m³/h	16,16	18,74	21,84	28,2	32,86	38,7	45,8
* Perdita di carico	kPa	27,5	28,4	37,3	54,9	37,3	53	54,9
	m C.A.	2,8	2,9	3,8	5,6	3,8	5,4	5,6
Superficie batterie condensanti	m²	2 x 2,45	2 x 3,35	2 x 3,35	4 x 2,25	4 x 2,78	4 x 3,65	4 x 3,65
Ranghi	n°	2	3	2	2	2	2	2
Portata aria totale	m³/h	40.000	43.700	52.000	71.500	78.100	91.300	106.000
	m³/s	11,11	12,14	14,44	19,86	21,69	25,36	29,44
Potenza sonora globale	dB(A)	85,5	90	91	92	92	94	95

Serie RAX-H	Modello	432	532	632	732	832	1032	1232
* Potenza frigorifera	kW	91,3	111	124	171	192	215	240
	frig/h	78.500	95.500	106.600	147.000	165.100	184.900	206.400
* Potenza assorbita totale	kW	37	36,5	45,1	59	66	79,2	94,3
* Corrente assorbita	A	220 V 380 V	125	68	91	114	129	155
			72,5	68	91	114	129	155
* Portata acqua	l/s	4,36	5,31	5,92	8,17	9,17	10,27	11,47
	m³/h	15,7	19,1	21,32	29,4	33,02	36,98	41,28
* Perdita di carico	kPa	26,5	29,4	35,3	58,9	37,3	49	45,1
	m C.A.	2,7	3	3,6	6	3,8	5	4,6
○ Potenza termica	kW	103,5	129	135	186	200	234	270
	kcal/h	89.000	111.000	116.100	160.000	172.000	201.200	232.000
○ Potenza assorbita totale	kW	39,3	39,5	48,8	62,2	69,2	80,25	96,5
○ Corrente assorbita	A	220 V 380 V	133	75	99	120	139	157
			77	99	120	139	157	186
○ Portata acqua	l/s	4,94	6,17	6,45	8,89	9,56	11,18	12,89
	m³/h	17,8	22,2	23,22	32	34,4	40,24	46,4
○ Perdita di carico	kPa	24,5	29,4	31,4	52	30,4	43,2	42,2
	m C.A.	2,5	3	3,2	5,3	3,1	4,4	4,3
Superficie batterie condensanti	m²	2 x 2,45	2 x 3,35	2 x 3,35	4 x 2,25	4 x 2,78	4 x 3,65	4 x 3,65
Ranghi	n°	3	3	3	3	3	3	3
Portata aria totale	m³/s	10	11,86	13,89	19,44	21,53	24,44	28,9
	m³/h	36.000	42.700	50.000	70.000	77.500	87.500	103.500
Potenza sonora globale	dB(A)	86	88,5	90,5	91,5	91,5	94	95

Serie RAX – RAX-H	Modello	432	532	632	732	832	1032	1232
Tipo evaporatore		fascio tubiero						
Contenuto acqua evaporatore	dm³	29	32,5	32,5	40	48	61,5	65,8
Collegamenti idraulici		flangiati						
Diametro collegamenti idraulici		2 1/2"	3"	3"	3"	4"	4"	4"
Tipo compressore alternativo		ermetico						
Numero compressori / circuiti		2	2	2	2	2	2	2
Parzializzazione	%	0 – 50 – 100						
Avviamento		part - winding						
Potenza motori ventilatori (1)	n° x kW	4 x 0,55	4 x 0,55	4 x 0,75	6 x 0,75	6 x 0,75	8 x 0,75	8 x 0,75
	g/m	930	935	935	930	930	950	950
Velocità motori ventilatori	g/s	15,5	15,6	15,6	15,5	15,5	15,8	15,8
Corrente di spunto	A	220 V 380 V	365	165	177	210	239	360
			210	165	177	210	239	360
Dimensioni	altezza	mm	1.430	1.830	1.830	1.830	2.180	2.180
	larghezza	mm	1.900	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200
	Profondità	mm	2.820	2.930	2.930	3.915	3.915	4.900
Peso	kg	RAX	1.160	1.610	1.670	2.020	2.236	2.720
		RAX-H	1.296	1.836	1.900	2.300	2.536	3.126

Tabella 57: Dati tecnici relativi ai refrigeratori d'acqua (e/o pompe di calore)

Le problematiche impiantistiche che le pompe di calore pongono sono diverse. Esse richiedono impianti elettrici di maggiore potenza installata e pertanto si ha un aggravio di costo anche nel canone mensile pagato all'Azienda Elettrica. Pertanto risulta più ragionevole pensare di avere impianti *reversibili* cioè capaci di fornire freddo in estate (condizionamento) e caldo in inverno (riscaldamento a pompa di calore). In quest'ottica gli impianti a pompa di calore risultano convenienti. Gli spazi occupati dalle pompe di calore è solitamente limitato e la rete di distribuzione può essere sia ad acqua che ad aria. I terminali possono essere del tipo *fan coil* (cioè dei *termoventilconvettori* capaci di funzionare sia per il riscaldamento che per il condizionamento) o delle *Unità di trattamento aria (UTA)* canalizzate o non. L'esercizio di queste macchine è oltremodo semplice e non richiede alcuna particolare attenzione.

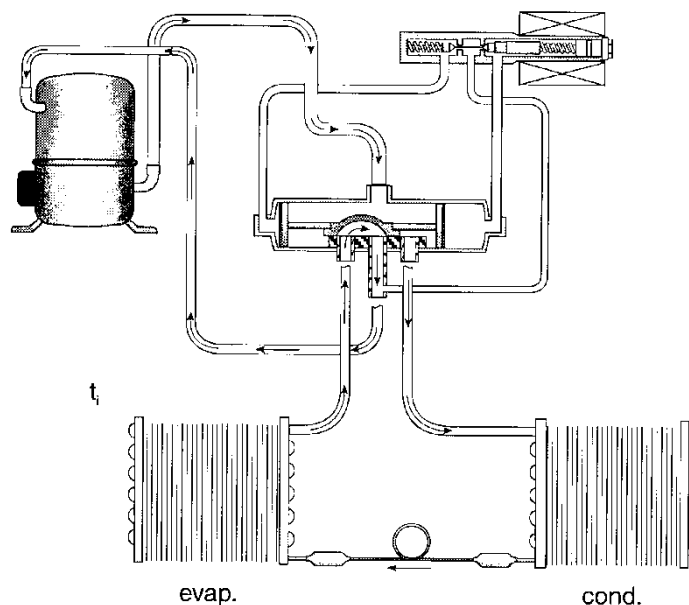


Figura 257: Funzionamento estivo di un ciclo frigorifero reversibile

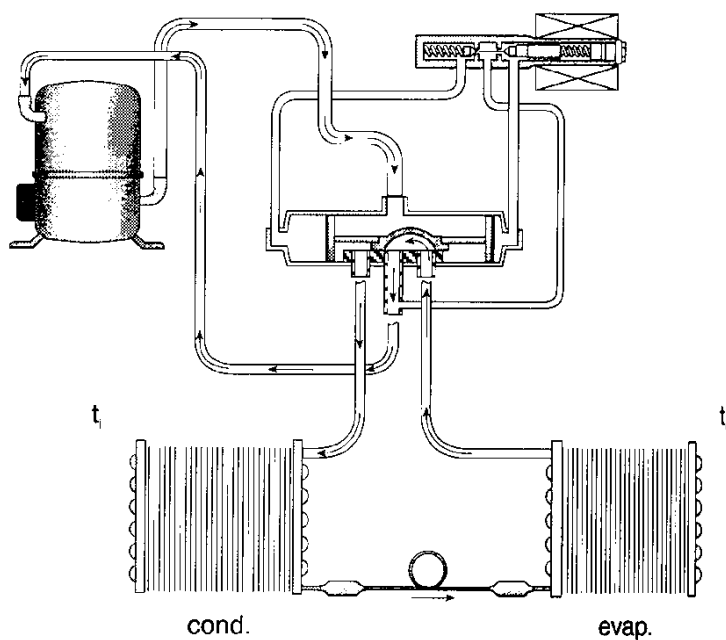


Figura 258: Funzionamento invernale di un ciclo frigorifero reversibile

La regolazione è solitamente effettuata dalla stessa macchina e risulta molto efficiente (specialmente nei modelli più recenti che fanno uso di logica *fuzzy*).

E' bene tenere presente che quando si hanno reti di distribuzione ad aria (quindi canali) gli spazi occupati da queste non sono trascurabili e debbono essere tenuti in debito conto in sede progettuale sia impiantistica che architettonica.

Di regola i canali d'aria hanno dimensioni non trascurabili e non possono essere nascoste nelle murature, come si fa normalmente con le tubazioni per l'acqua. Il progettista deve prevedere spazi adeguati (dell'ordine del metro) per il passaggio dei canali e per i cavedi di attraversamento fra i vari piani. La mancanza di questi spazi costituisce un grave problema nel momento della posa di questi tipi di impianti e quasi sempre le soluzioni di compromesso comportano modifiche architettoniche e superfetazioni non facili da accettare.

In Figura 274 si riporta un esempio dell'impiantistica necessaria per l'installazione di una pompa di calore che alimenta una rete ad aria canalizzata. Sono ben visibili gli spazi necessari per la posa dei canali, per gli attraversamenti murari e per i terminali di mandata.

Questo tipo di impianti richiede spesso la controsoffittatura degli ambienti o quanto meno delle zone interessate dall'attraversamento dei canali o dalla presenza delle UTA e dei terminali di mandata. I cicli frigoriferi vengono utilizzati, nei grandi impianti, in opportune macchine per il raffreddamento dell'acqua di alimento delle batterie di acqua fredda nelle centrali di trattamento dell'aria. Queste unità possono raggiungere dimensioni notevoli.

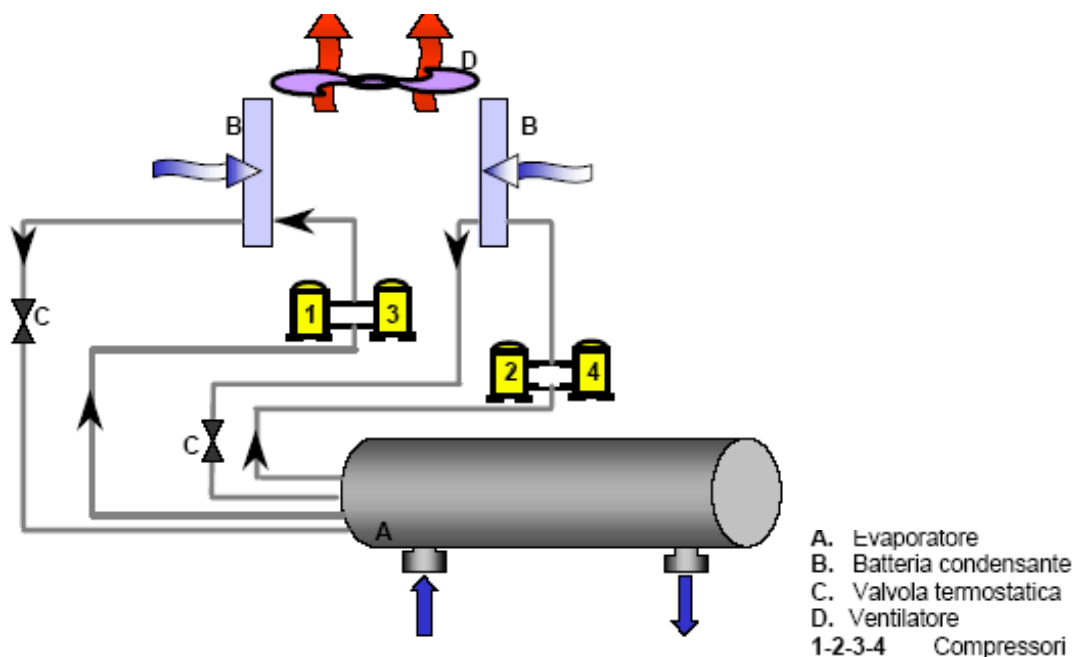


Figura 259: Layout impiantistico di un refrigeratore in funzionamento estivo

Al loro interno si hanno tutti gli organi meccanici ed elettrici indicati in precedenza. Sono ben visibili i compressori alimentati elettricamente, l'evaporatore, il condensatore e il sistema di raffreddamento a ventola in copertura.

Queste macchine sono oggi molto diffuse nell'impiantistica perché consentono di avere acqua fredda senza la necessità del raffreddamento dei condensatori ad acqua.

Questi ultimi, seppure più vantaggiosi dal punto di vista dell'efficienza, richiedono la disponibilità di acqua corrente o l'installazione di torri di raffreddamento ingombranti e complesse.

Le stesse macchine possono funzionare anche come *Pompa di calore*: in questo caso il circuito interno viene invertito mediante elettrovalvole e lo scambiatore di calore che di norma è il condensatore diviene l'evaporatore (e quindi assorbe calore dall'aria tramite le ventole) mentre l'evaporatore diviene il condensatore che viene raffreddato dall'acqua del circuito di riscaldamento interno degli edifici.

La selezione dei refrigeratori d'acqua e delle pompe di calore viene effettuata tramite i cataloghi forniti dal costruttore nel quale si hanno tutti i dati necessari sia alla selezione del modello che alla progettazione impiantistica (potenza dei motori, diametro di attacco, ingombro geometrico, peso, schemi elettrici, tipo di alimentazione, ...).

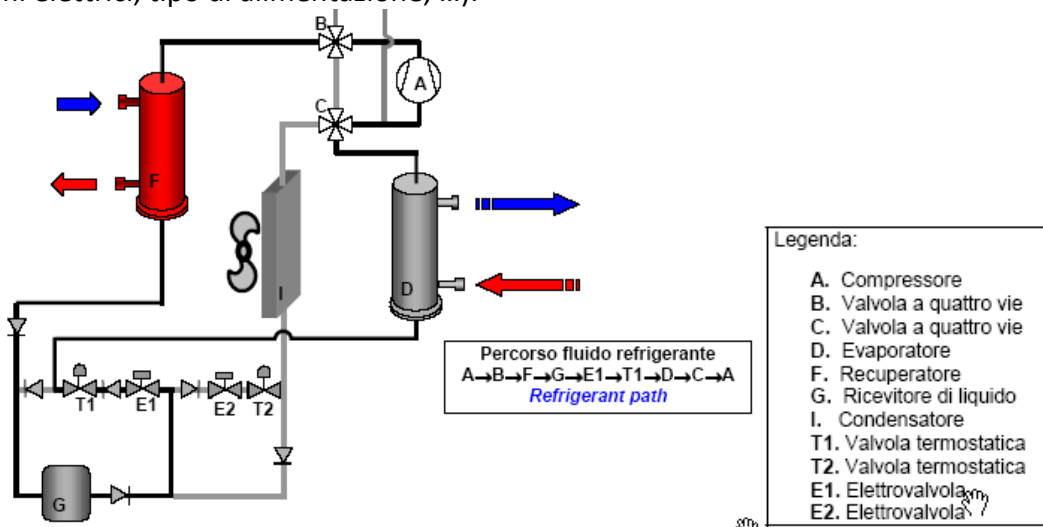


Figura 260: Layout impiantistico di un refrigeratore in funzionamento estivo

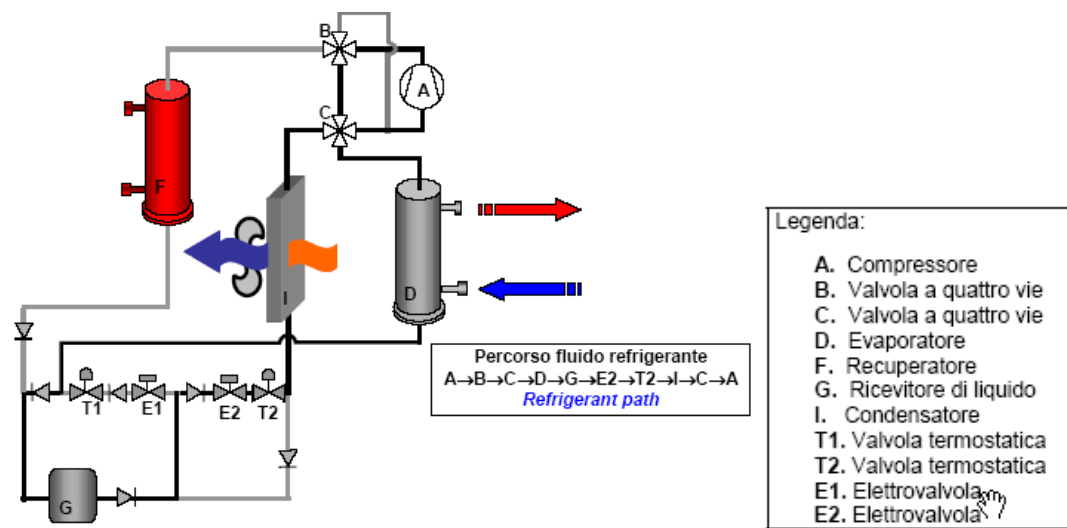


Figura 261: Layout impiantistico per una pompa di calore- stagione invernale

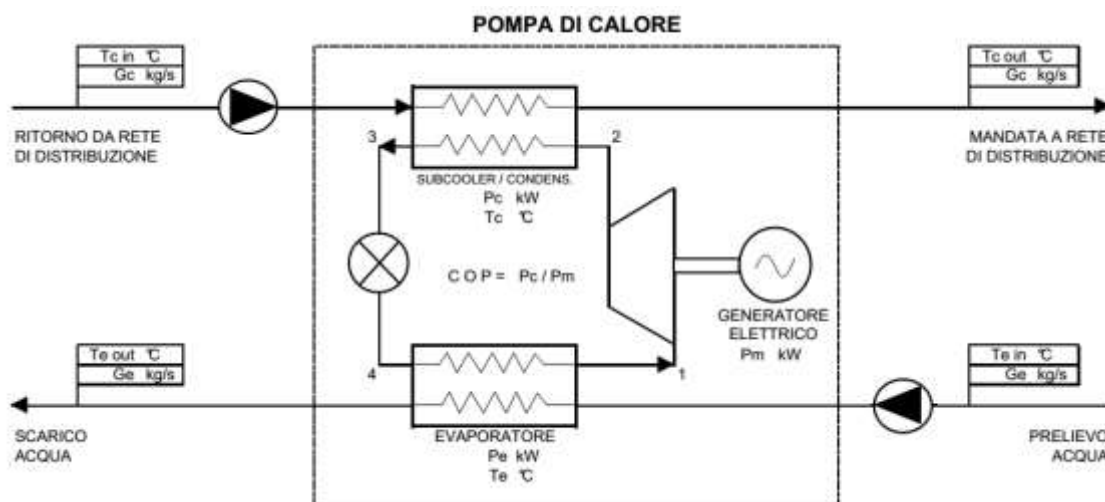


Figura 262: Schema di funzionamento della pompa di calore

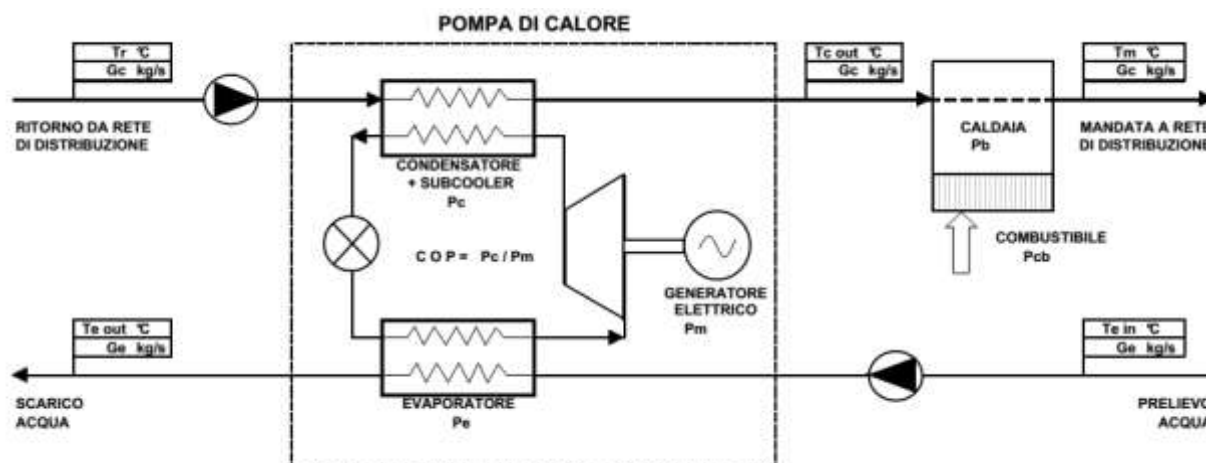


Figura 263: Schema di impianto di una pompa di calore ed una caldaia di integrazione

11.7.3 TEMPERATURA BIVALENTE

Se si riporta su un diagramma la potenza termica ottenuta da una pompa di calore al variare della temperatura della sorgente fredda e la potenza termica richiesta dall'edificio (carico termico al variare della tessa temperatura esterna), si ha il grafico di Figura 264.

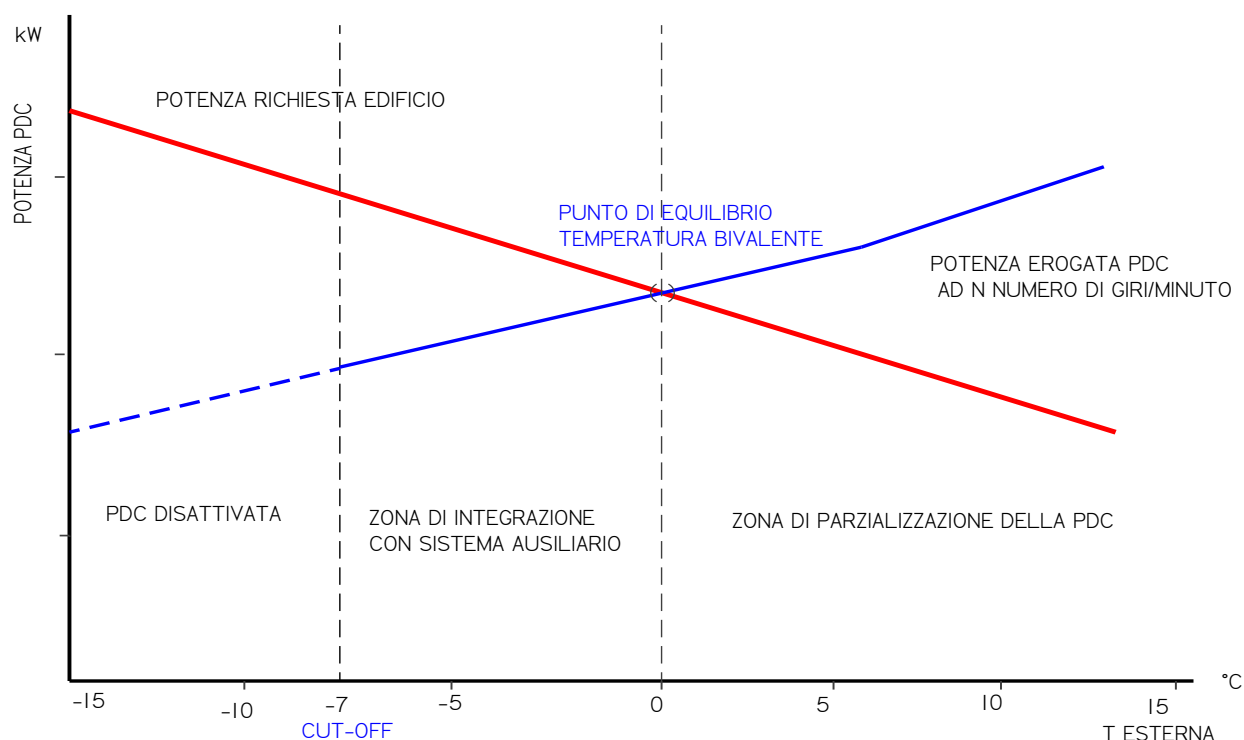


Figura 264: Punto di equilibrio e temperatura bivalente

Si osserva in questo diagramma che:

- La potenza della pompa di calore al pozzo caldo cresce al crescere della temperatura esterna (sorgente fredda aerea);
- Al di sotto della temperatura di cut-off la pompa di calore non funziona;
- Il punto di equilibrio si ha quando la potenza fornita dalla pompa di calore bilancia il carico termico dell'edificio. La temperatura corrispondente al punto di equilibrio viene detta **temperatura bivalente**.

- A sinistra del punto di equilibrio la pompa di calore non può soddisfare da sola il carico termico e pertanto è necessaria un'integrazione;
- A destra del punto di equilibrio la pompa di calore fornisce più potenza di quanto ne richieda l'edificio e pertanto funziona a carico ridotto ($CR < 1$).

Al variare della temperatura del pozzo caldo il precedente diagramma si modifica, come indicato in Figura 265 nella quale si osserva che al crescere della temperatura suddetta la curva di potenza della pompa di calore si abbassa e quindi il punto di equilibrio (e quindi anche la temperatura bivalente) si sposta verso destra.

Questo effetto può essere ottenuto con una pompa di calore con inverter che può fornire una potenza variabile con la frequenza dell'inverter.

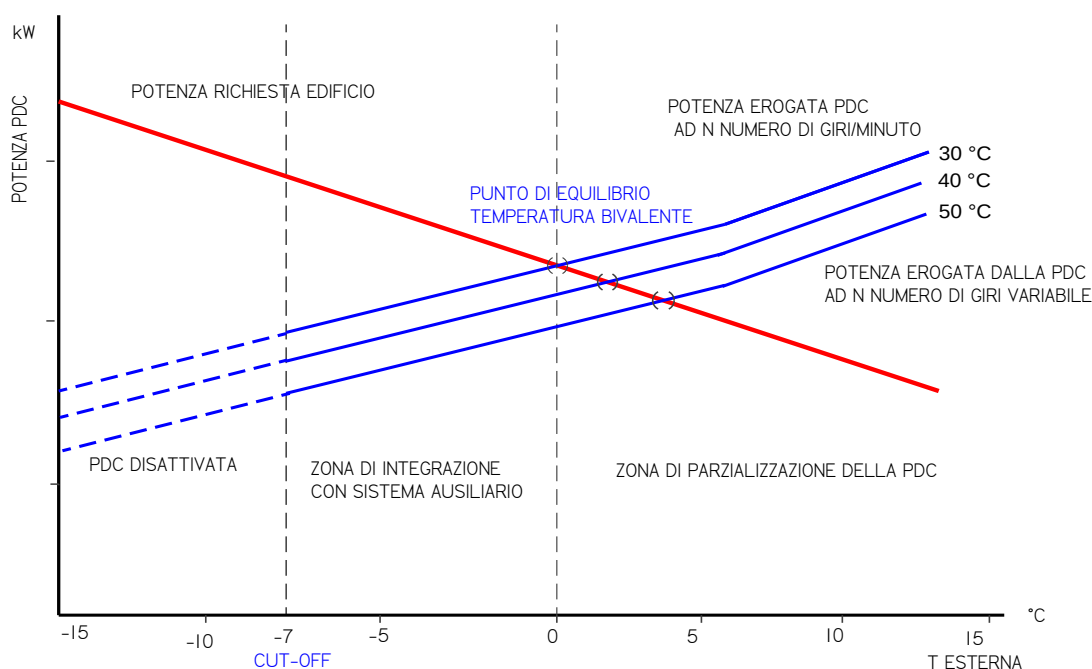


Figura 265: Variazione del punto di equilibrio al variare della temperatura di pozzo caldo

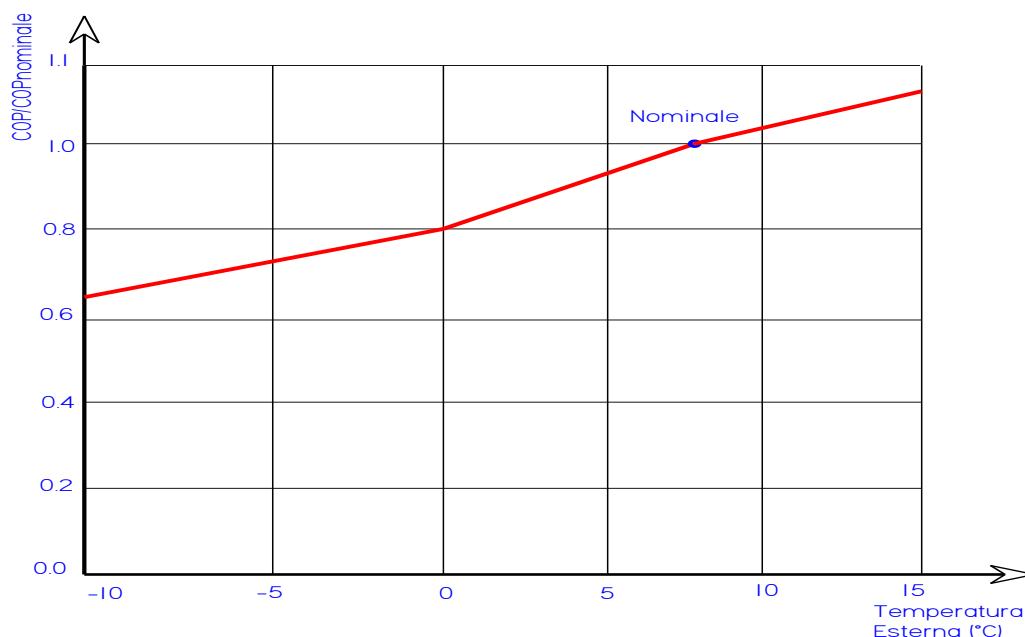


Figura 266: Variazione del rapporto $COP/CO_{Pnominale}$

In Figura 266 si può osservare come varia il rapporto $COP/COP_{nominale}$ al variare della temperatura di sorgente fredda in questo caso dell'aria esterna). Si osserva come spostandosi verso le basse temperature esterne, cioè verso il cut-off, si abbiano perdite di efficienza superiori al 30%. In questi casi occorre utilizzare sistemi con aria miscelata che sposti la temperatura all'evaporatore verso valori più prossimi alla temperatura nominale.

11.7.4 METODI PER INCREMENTARE LE PRESTAZIONI DELLE POMPE DI CALORE

In base a quanto sopra detto per incrementare l'efficienza delle pompe di calore occorre procedere secondo le seguenti vie:

- ridurre la temperatura di mandata dell'impianto (ad es. uso di impianti a pannelli radianti a pavimento, termoconvettori a bassa temperatura,...)
- cercare sorgenti esterne a temperatura più alta possibile, ad es.:
 - flussi di scarto (aria di ventilazione);
 - terreno, acqua di falda (sorgenti geotermiche);
 - acque superficiali: laghi, corsi d'acqua.
- uso di inverter, suddivisione della potenza installata su più macchine, ...
- necessità di sbrinamento della batteria esterna (nel caso di pompe di calore evaporanti in aria)

Nelle figure seguenti si hanno gli schemi funzionali per l'utilizzo dell'aria di ventilazione degli edifici e per l'utilizzo di sorgenti geotermiche.

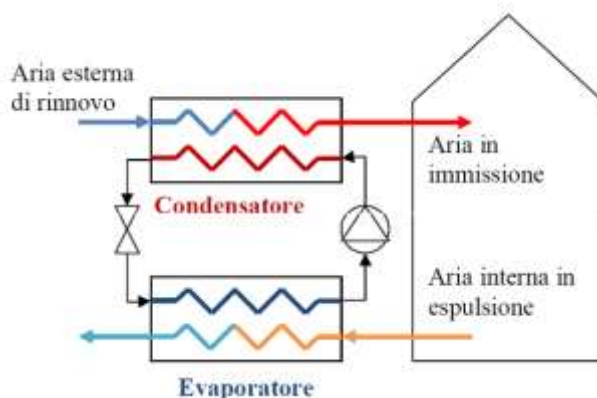


Figura 267: Recupero di calore dell'aria di espulsione

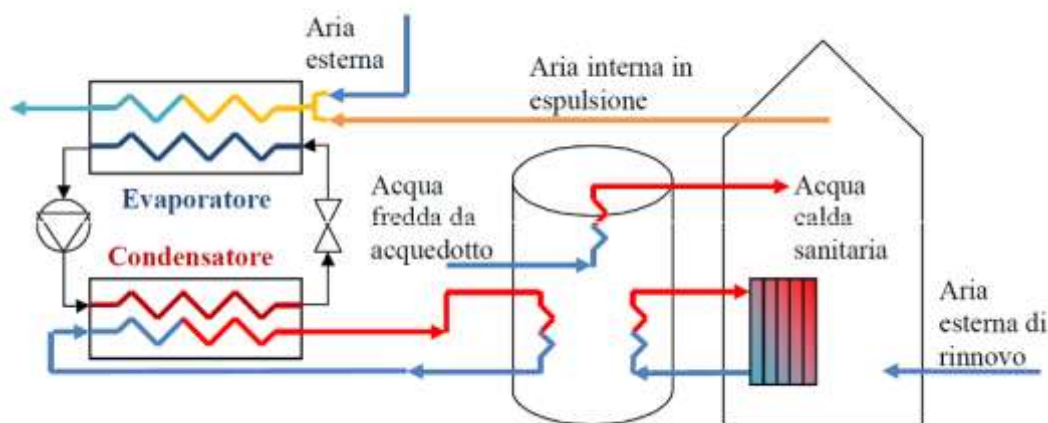


Figura 268: Recupero di calore dell'aria di espulsione per riscaldamento e ACS

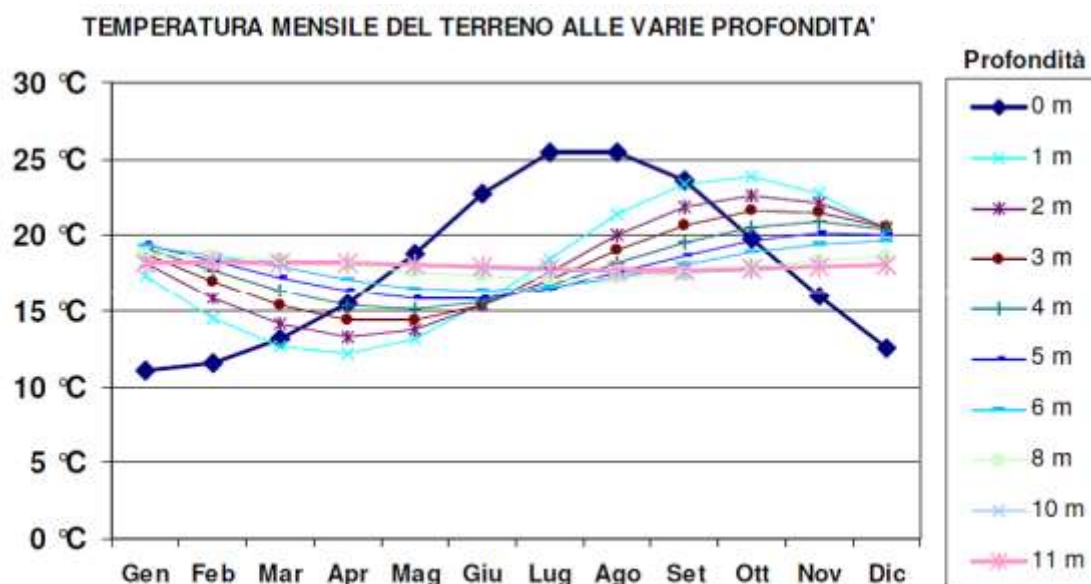


Figura 269: Andamento della temperatura del terreno a varie profondità

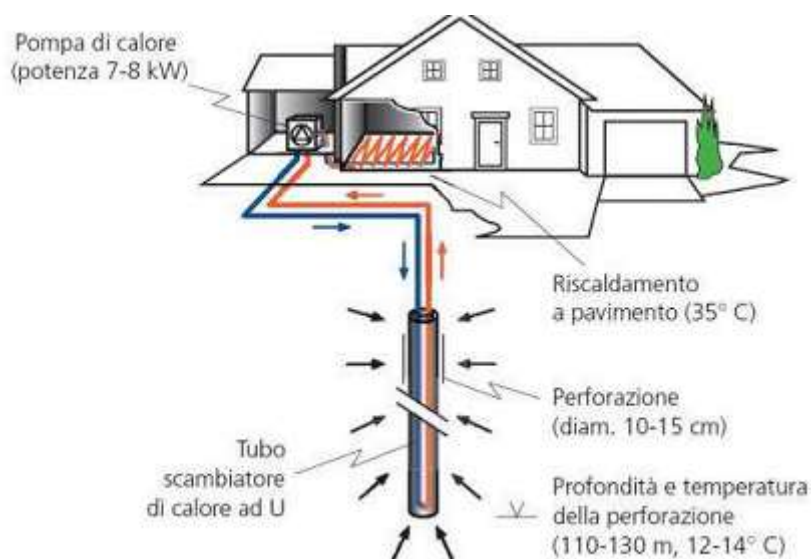


Figura 270: Schema impiantistico di una pompa di calore geotermica

11.7.5 CAMPI DI APPLICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE AL VARIE DELLE ZONE CLIMATICHE

Per una assegnata temperatura di pozzo caldo (ad esempio 40 °C), il diagramma seguente sintetizza in modo qualitativo l'andamento dello SCOP (valore medio stagionale del COP) al variare dei Gradi-Giorno e quindi delle zone climatiche.

Si osserva che fino a circa 1400 GG le PdC ad aria possono essere convenienti da utilizzare, se si eccettua la superiorità delle pome alimentate ad acqua valida per qualunque zona climatica.

Oltre i 1400 GG sono convenienti le PdC geotermiche che hanno una temperatura di sorgente fredda più elevata.

Se si dispone di acqua di falda, di lago o di mare l'utilizzo di PdC che hanno sorgente fredda in acqua risulta sempre la più conveniente.

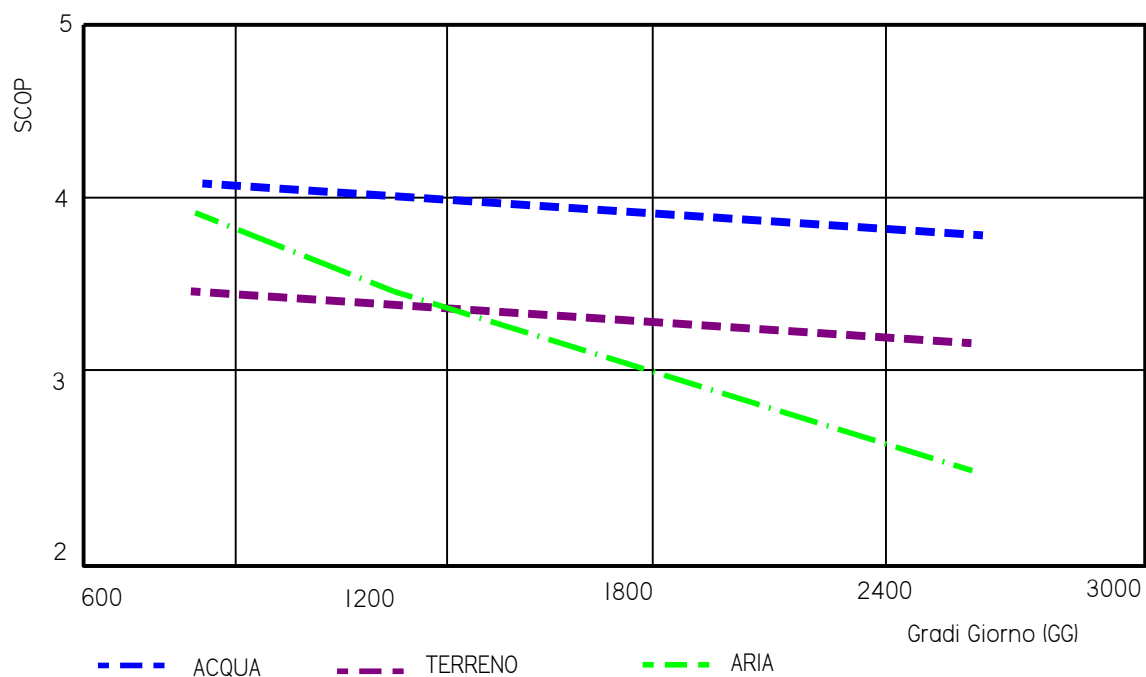


Figura 271: Andamento dello SCOP per varie zone climatiche

11.7.6 RIDUZIONE DELL'EER PER PRODUZIONE DI ACS

Se si desidera produrre ACS a 55-60 °C allora la temperatura del pozzo caldo deve raggiungere i 70 °C.

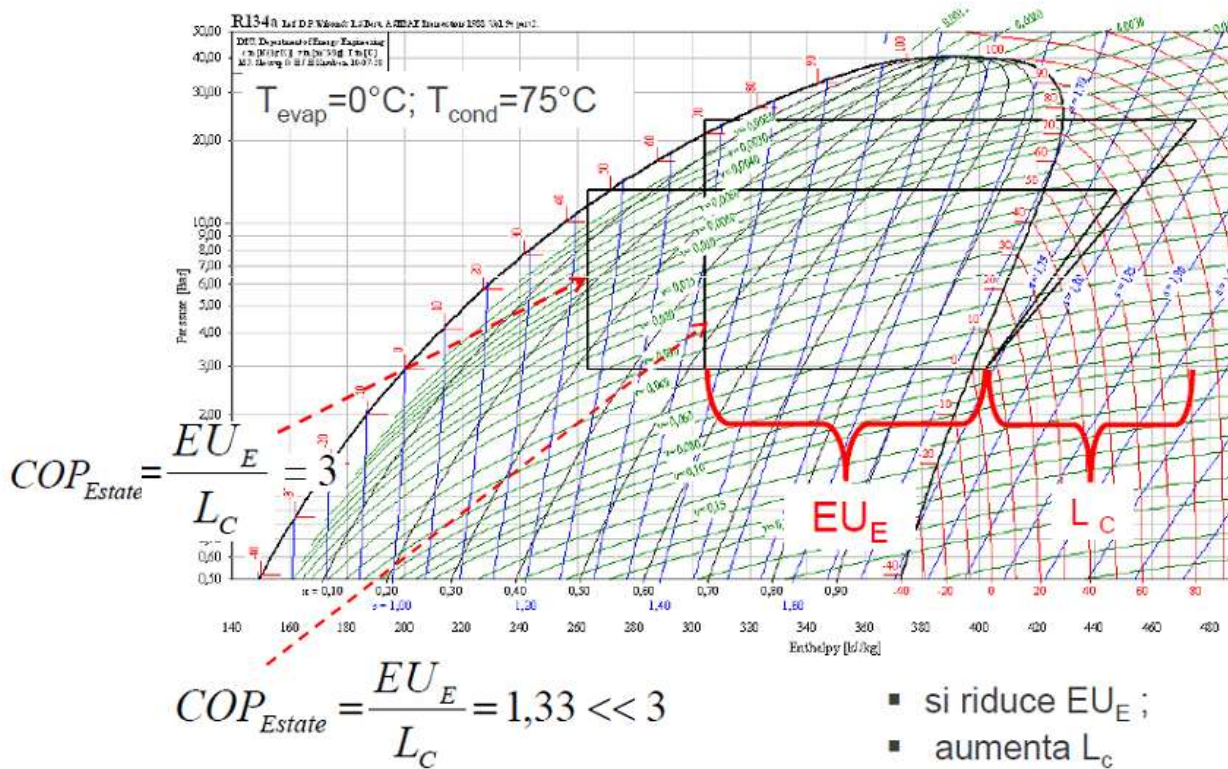


Figura 272: Riduzione dell'EER per la produzione di ACS

Questo comporta una riduzione dell'effetto frigorifero, vedi figura, e quindi dell'EER⁶¹, come schematizzato in Figura 272. Pertanto le pompe di calore che debbono contemporaneamente fornire acqua calda per usi sanitari e per il riscaldamento degli ambienti hanno efficienze minori.

Come già detto, è sempre opportuno lavorare alla temperatura di pozzo caldo più bassa possibile.

11.7.7 CONVENIENZA DELLE POMPE DI CALORE

In Figura 273 si ha un abaco che indica il COP minimo per verificare la convenienza rispetto alle caldaie tradizionali al variare del rendimento elettrico di riferimento.

Si osserva che per $\eta=0,46$ (secondo le attuali indicazioni della R. 14/2013 CTI) le pompe di calore risultano convenienti già a partire da COP=2.22.

Questa osservazione è importante per comprendere l'evoluzione dell'attuale normativa che, come già accennato in precedenza, appare premiale verso le pompe di calore.

La convenienza di questi dispositivi sarà sempre più accentuata quanto maggiore sarà nel futuro il rendimento primario di trasformazione. Questo dipende dal rendimento elettrico medio europeo ed è funzione sia dell'evoluzione tecnologica degli impianti di produzione (centrali a ciclo combinato gas – vapore) che dal maggiore utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

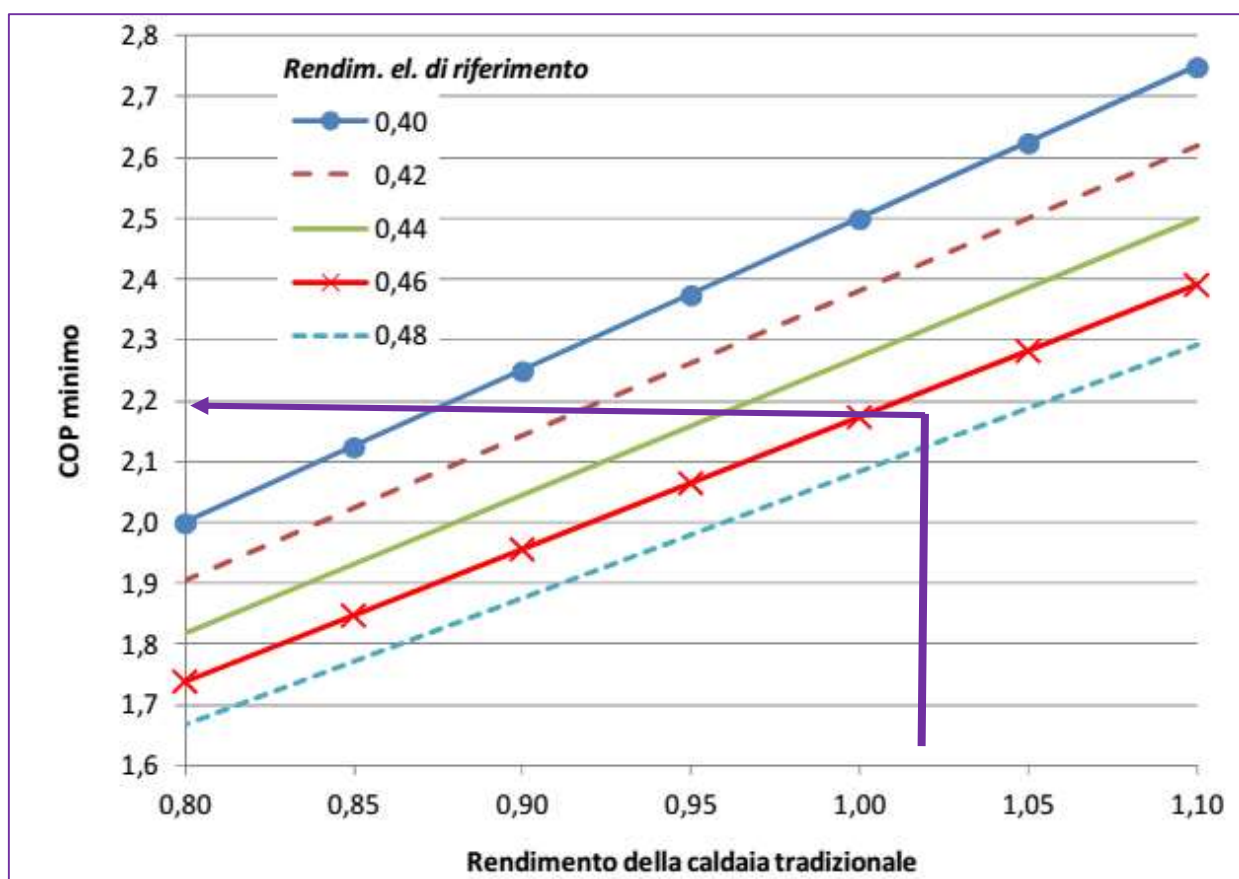


Figura 273: Convenienza delle PdC rispetto alle caldaie tradizionali

⁶¹ L'indice EER (Energy Efficiency Ratio) è definito per il funzionamento frigorifero come: $EER = \frac{Q_{\text{evaporatore}}}{L_{\text{compressore}}}$. Si dimostra

facilmente che è $COP = EER + 1$. Analogamente allo SCOP si definisce un valore medio stagionale di EER detto SEER.

11.7.8 PROBLEMATICHE DELLE POMPE DI CALORE

Sebbene l'utilizzo delle pompe di calore sia oggi molto più esteso rispetto ad una decina di anni fa per i vantaggi sopra esposti, vanno tuttavia tenute in considerazione alcune problematiche che si possono presentare nel loro utilizzo. In primo luogo si consideri che la temperatura dell'aria esterna non può variare liberamente ma è soggetta a limiti massimi indicati dai vari Costruttori.

In ogni caso si ha, in genere, un limite (*cut off*) a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e in qualche caso anche $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pertanto in zone climatiche molto fredde (dalla D in su) spesso è impossibile utilizzare le pompe di calore avendo come sorgente direttamente l'aria esterna.

Inoltre l'utilizzo di impianti con acqua quale fluido di lavoro (quindi escludendo i sistemi split con batterie ad espansione diretta) può avvenire solo con forti percentuali di antigelo (glicole etilenico) variabili da 20 al 35%. Ciò comporta anche un dimensionamento ad hoc della rete di distribuzione a causa della sensibile variazione della densità dell'acqua additivata.

Una seconda importante considerazione per l'utilizzo delle pompe di calore è che, nel caso di unità di trattamento aria con presa di aria esterna, nei climi più freddi, già al di sotto di $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, occorre evitare la ghiacciatura dell'acqua nelle batterie di scambio quando l'impianto è spento.

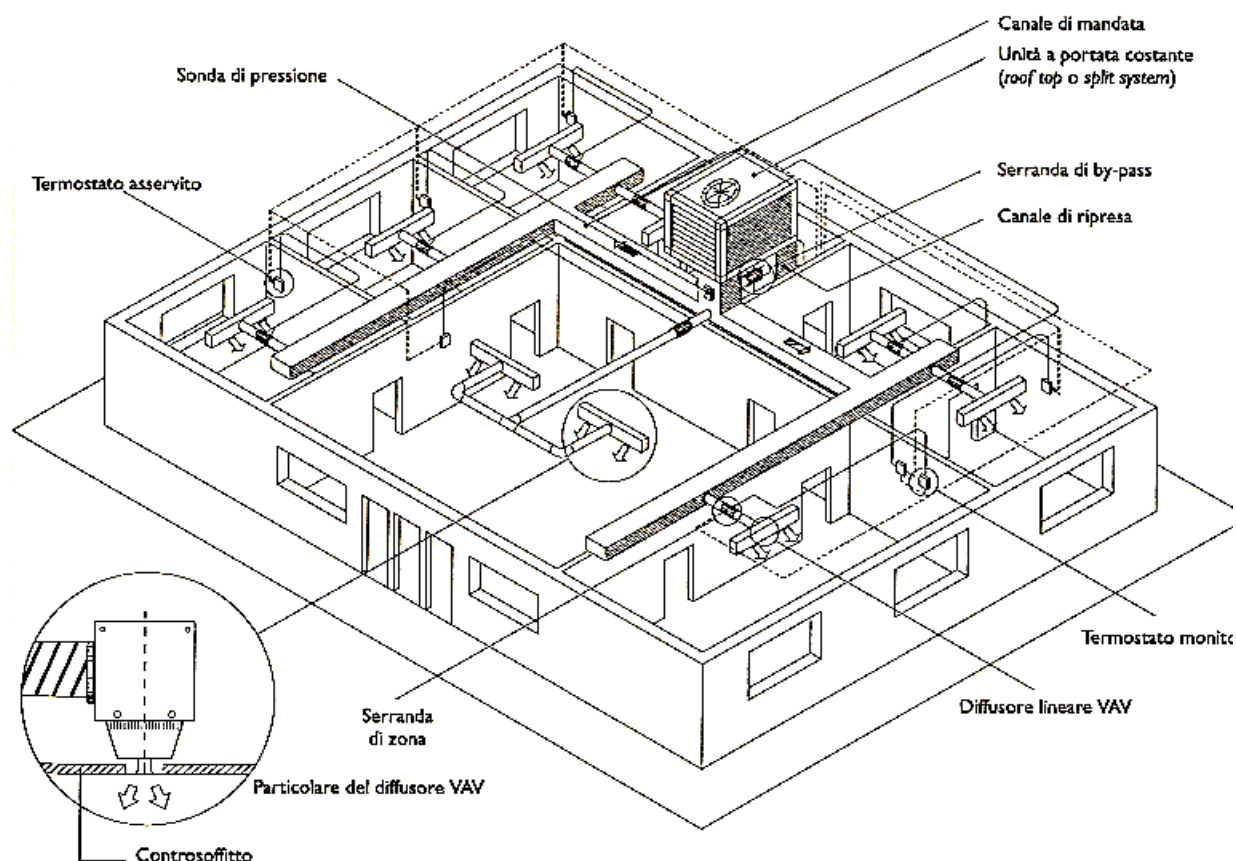


Figura 274: Esempio di impianto a pompa di calore con distribuzione ad aria

Pertanto occorre inserire opportune batterie di riscaldamento (scaldiglie) atte ad evitare la ghiacciatura dell'acqua o a scongelarla nel caso si sia già verificata.

Una terza importante considerazione deriva dall'osservazione che le potenzialità delle pompe di calore sono praticamente equivalenti (si ha qualche per cento in più per la resa termica invernale) per l'estate e per l'inverno e pertanto la stessa macchina deve potere far fronte ad entrambi i carichi mediante semplice inversione. Tuttavia per le zone climatiche più fredde (dalla zona C in su) è

possibile che i carichi invernali siano sensibilmente più elevati rispetto a quelli estivi e pertanto si perde la simmetria di utilizzo delle pompe di calore.

In pratica le condizioni estive variano poco in Italia (temperature esterne variabili da 30 a 34 °C ed umidità relative esterne variabili fra il 40 e il 60%) e pertanto i carichi estivi risultano comparabili nelle varie regioni italiane. In inverno abbiamo temperature esterne di progetto variabili fra i 5 °C delle zone A ai -15 o anche - 20 °C delle zone montane e per conseguenza i carichi termici invernali possono più che raddoppiare fra le varie situazioni climatiche.

A parte le considerazioni esposte nei primi due punti, la dissimmetria del carico termico stagionale richiede l'installazione di più unità per far fronte al carico invernale oppure si sostituiscono le pompe di calore con normali generatori termici.

11.7.9 UNITÀ CON MODULO IDRONICO INCORPORATO

Per le unità a pompa di calore del tipo aria – acqua si hanno ingombri notevoli dovute alle batterie del condensatore. Ne deriva che queste unità sono degli enormi parallelepipedi praticamente vuoti all'interno.

Molti Costruttori hanno pensato di dotare le unità di refrigerazione (e quindi anche le pompe di calore) di un modulo idronico costituito dal serbatoio di accumulo, valvole di sicurezza e gruppo di pompaggio, vedi ad esempio lo schema di Figura 276. Il vantaggio che ne deriva è di avere delle unità complete del necessario per l'installazione nell'impianto senza dover prevedere spazi aggiuntivi per gli organi sopra indicati. La selezione delle pompe può essere effettuata su catalogo in funzione della prevalenza necessaria per la rete di distribuzione.

11.7.10 FUNZIONAMENTO IN FREE COOLING

Quando l'impianto è asservito a sistemi tecnologici operanti anche con temperature esterne basse, è energeticamente molto conveniente utilizzare i refrigeratori dotati di *free cooling*.

Nei refrigeratori appartenenti a tale serie è implementato il sistema *free cooling* che permette, qualora la temperatura esterna sia sufficientemente bassa, di non utilizzare la parte "*refrigerante*" del *chiller* e cioè i compressori, che sono i componenti principalmente responsabili dei consumi energetici. In tali unità, infatti, l'acqua refrigerata è prodotta utilizzando l'aria esterna e quindi il consumo energetico è limitato ai soli ventilatori.

In tal modo si potrà disporre di acqua refrigerata a costo zero. In tali casi il funzionamento è detto misto: il refrigeratore utilizzerà l'aria esterna per pre-raffreddare il fluido refrigerante sottoponendo i compressori ad un lavoro inferiore ed ottenendo ancora un risparmio energetico.

Vi saranno pertanto tre regimi di funzionamento, esemplificati schematicamente nel diagramma di Figura 275:

- **Free cooling** (funzionamento di ventilatori e pompa di free-cooling);
- **Misto** (funzionamento di ventilatori, pompa di free cooling ed in parte dei compressori);
- **Raffreddamento meccanico** (Espansione diretta) (funzionamento di ventilatori e compressori).

L'idea che sta alla base del funzionamento free cooling è, come detto sopra, quella di produrre acqua refrigerata utilizzando l'aria esterna anziché il funzionamento in espansione diretta. Il sistema di regolazione a microprocessore, quando la temperatura dell'aria esterna è sufficientemente bassa, abilita il funzionamento in free cooling: attraverso l'apposita pompa.

L'acqua viene fatta circolare all'interno di apposite batterie di scambio termico e raffreddata dall'aria esterna forzata dai ventilatori che, assieme alla pompa, sono gli unici componenti che assorbono energia. L'acqua viene quindi re-immessa nel circuito e fornita all'utenza.

Si osservino, nei data sheet delle pompe di calore, i dati tecnici circuitali (potenze elettriche assorbite, portate di fluido, scambiatori di calore) e i dati relativi alle potenzialità frigorifere

(funzionamento estivo) e termiche (funzionamento invernale). In Figura 276 si ha la vista interna di refrigeratore monoblocco completo di vaso di espansione e di pompe di circolazione adeguate all'uso. Infine in Figura 277 si hanno indicazioni sulle distanze minime da rispettare per l'installazione di queste macchine. Tali distanze sono necessarie per interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria (sostituzione di pezzi difettosi o guasti). E' opportuno rispettarle sempre con la dovuta attenzione.

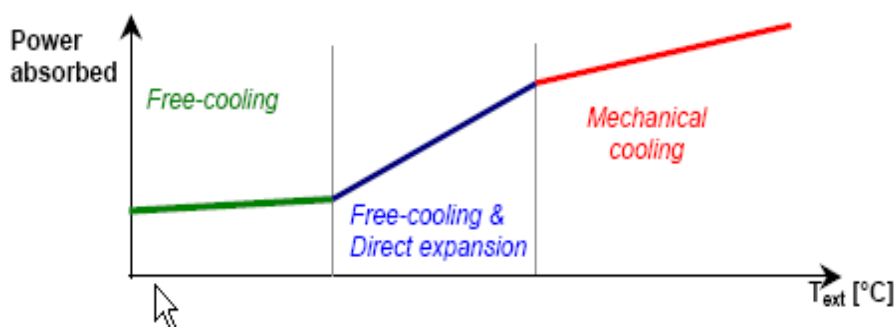


Figura 275: Regimi di funzionamento in free cooling

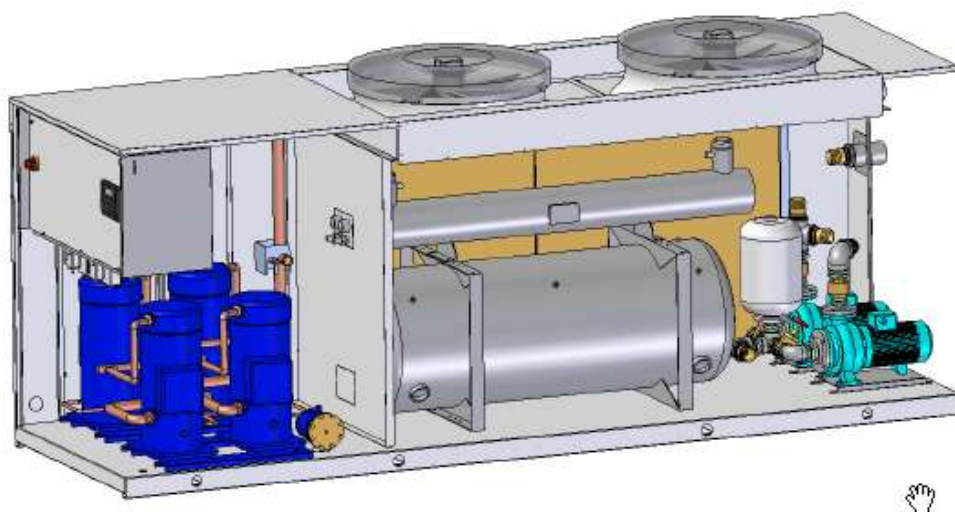
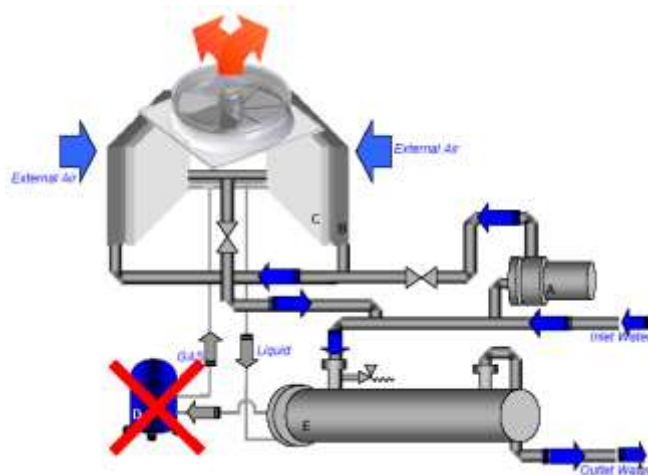


Figura 276: Vista dell'interno di un refrigeratore reversibile completo di vaso di espansione e pompe di circolazione

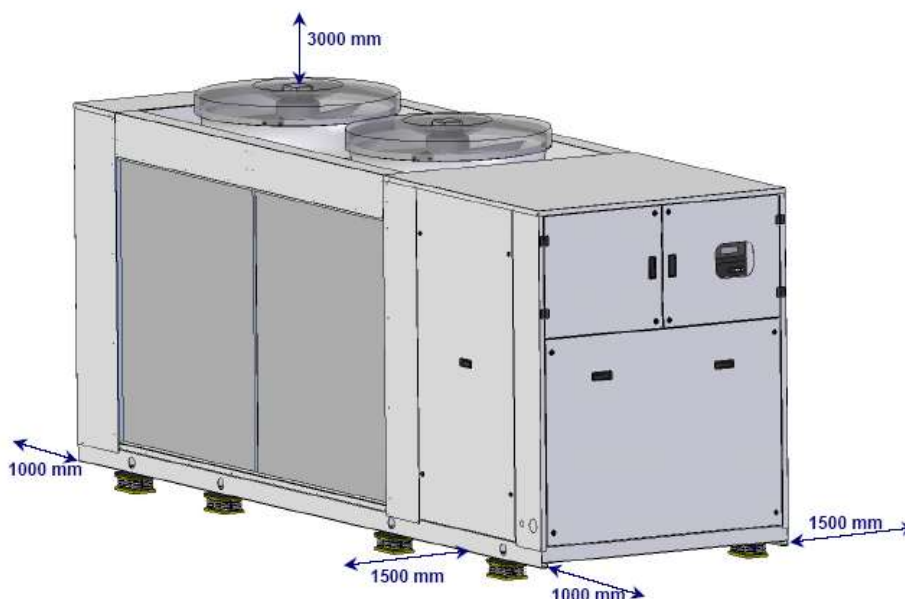


Figura 277: Distanze minime di montaggio di un refrigeratore

11.7.11 SELEZIONE DELLA POMPA DI CALORE

La selezione della pompa di calore va sempre fatta su cataloghi commerciali conoscendo, quale parametro fondamentale, la potenza utile da fornire all'impianto. I costruttori forniscono poi tutti i dati costruttivi e funzionali necessari per l'installazione.

11.7.12 CLASSIFICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE IN BASE AL FLUIDO TERMOVETTORE E AL POZZO FREDDO

Nell'utilizzo della pompa di calore per riscaldamento ambiente, le principali sorgenti fredde dalle quali estrarre il calore gratuito sono:

L'aria

- - esterna al locale dove è installata la pompa di calore;
- - estratta dal locale dove è installata la pompa di calore.

L'acqua

- - di falda, di fiume, di lago, presente in prossimità dei locali da riscaldare e a ridotta profondità;
- - accumulata in serbatoi e riscaldata da collettori solari.

Il terreno nel quale possono sotterrarsi apposite tubazioni collegate all'evaporatore.

A seconda delle combinazioni delle sorgenti fredde disponibili e del fluido (acqua o aria) usato per la distribuzione del calore negli ambienti, si possono avere pompe di calore:

aria-aria	acqua-aria	terra-aria
aria-acqua	acqua-acqua	terra-acqua

L'aria come sorgente fredda ha il vantaggio d'essere disponibile ovunque; tuttavia la potenza resa dalla pompa di calore diminuisce con la temperatura della sorgente fredda. Nel caso si utilizzi l'aria esterna, è necessario (intorno ai 4-5°C), un sistema di sbrinamento che comporta un ulteriore consumo d'energia elettrica. In definitiva l'efficienza della pompa di calore si abbassa quando la

temperatura dell'aria esterna scende al di sotto di 5°C fin quando potrà rendersene conveniente lo spegnimento.

L'acqua, come sorgente fredda, garantisce ottime prestazioni della pompa di calore, senza risentire delle condizioni climatiche esterne; il suo utilizzo può richiedere un leggero costo addizionale dovuto al sistema d'adduzione. Anche il terreno, usato come sorgente fredda, ha il vantaggio di subire minori sbalzi di temperatura rispetto all'aria.

Le tubazioni orizzontali vanno interrate ad una profondità minima da 1 a 1,5 m per non risentire troppo delle variazioni di temperatura dell'aria esterna e mantenere i benefici effetti dell'insolazione. Questa soluzione è però costosa sia per il terreno necessario sia per la complessità dell'impianto.

11.7.13 APPLICAZIONI DELLA POMPA DI CALORE

Le possibili applicazioni di una pompa di calore sono, come accennato precedentemente:

- - *climatizzazione degli ambienti;*
- - *riscaldamento degli ambienti e produzione d'acqua sanitaria (dove distinguiamo gli impianti in monovalenti e bivalenti).*

Quando la pompa di calore è in grado di coprire l'intero fabbisogno termico, avremo un sistema monovalente (se la pompa utilizza come sorgente l'aria esterna, tale sistema è utilizzabile soltanto in zone ove la temperatura non scenda sotto agli 0°C). Qualora invece la pompa di calore non riesca a coprire il fabbisogno termico, si farà ricorso al sistema bivalente.

Questo si distingue in bivalente mono-energetico, se la quota del fabbisogno termico stagionale è coperto da pompa di calore e l'integrazione avviene con generatore ausiliario che utilizza lo stesso vettore energetico, e bivalente bi-energetico se il generatore ausiliario utilizza un altro vettore energetico rispetto alla pompa di calore.

Come vettore energetico la norma considera l'energia elettrica per pompe di calore a compressione di vapore e combustibili gassosi o liquidi per le pompe di calore ad assorbimento a fuoco diretto. Per il riscaldamento dell'acqua calda si ricorda che i serbatoi di accumulo dovranno essere previsti di dimensioni maggiori rispetto ai normali scaldacqua, giacché la temperatura dell'acqua prodotta non supera i 55°C.

11.7.14 POMPE DI CALORE AD ASSORBIMENTO

Si vedrà nel Volume 2° dedicato al Condizionamento un ciclo frigorifero di particolare interesse: il ciclo ad assorbimento. In breve con questo ciclo si sostituisce il compressore frigorifero, solitamente alimentato elettricamente, con un sistema di due serbatoi, detti generatore ed assorbitore. Nel primo si cede calore ad una miscela composta da un soluto (capace di evaporare facilmente) ed un solvente (ad esempio acqua e ammoniaca o acqua e bromuro di litio).

Il ciclo ad assorbimento non ha particolare efficienza ma consente il raggiungimento di temperature particolarmente basse, fino a -60 °C utilizzando ammoniaca come refrigerante e acqua come assorbente; è molto impiegato nei casi in cui si disponga di recuperi termici industriali o recuperi termici da cogenerazione (cogenerazione) o in mancanza di energia elettrica necessaria all'azionamento del compressore per il ciclo a compressione di vapore.

Si utilizzano come solvente l'acqua e soluto l'ammoniaca, che è il gas frigorifero, oppure come solvente l'acqua e come soluto il bromuro di litio, in questo caso il gas frigorifero è il vapor d'acqua (più volatile). In Figura 278 si riporta lo schema impiantistico per una macchina del tipo NH₃-H₂O.

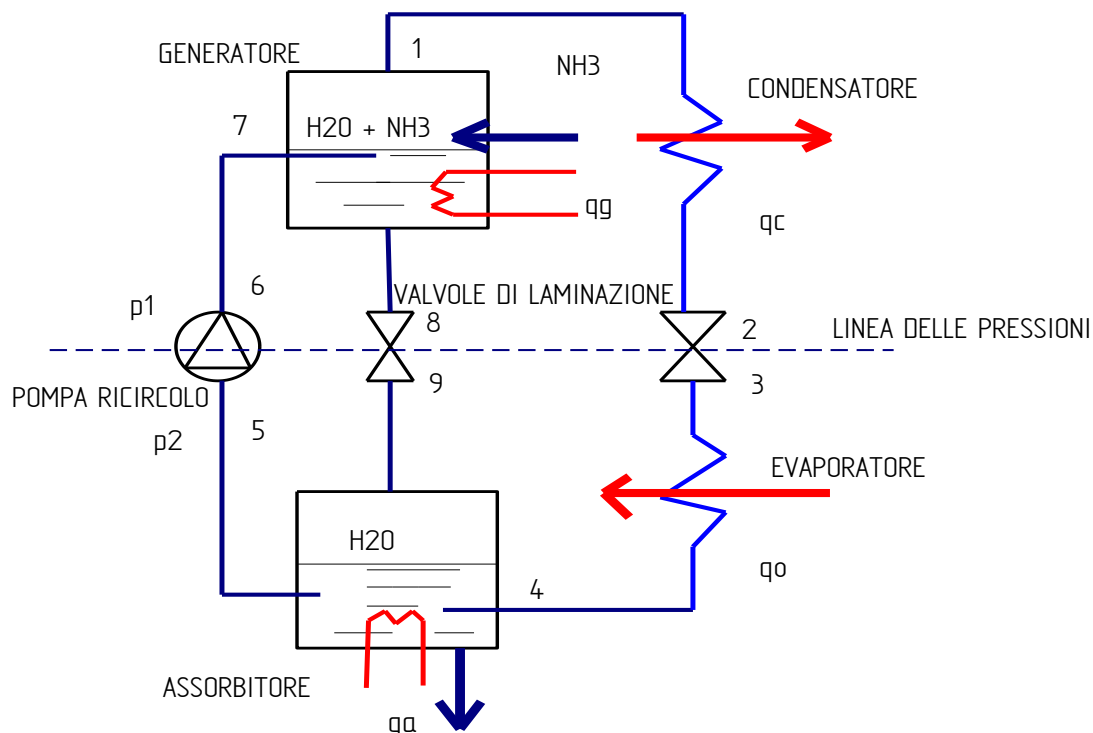
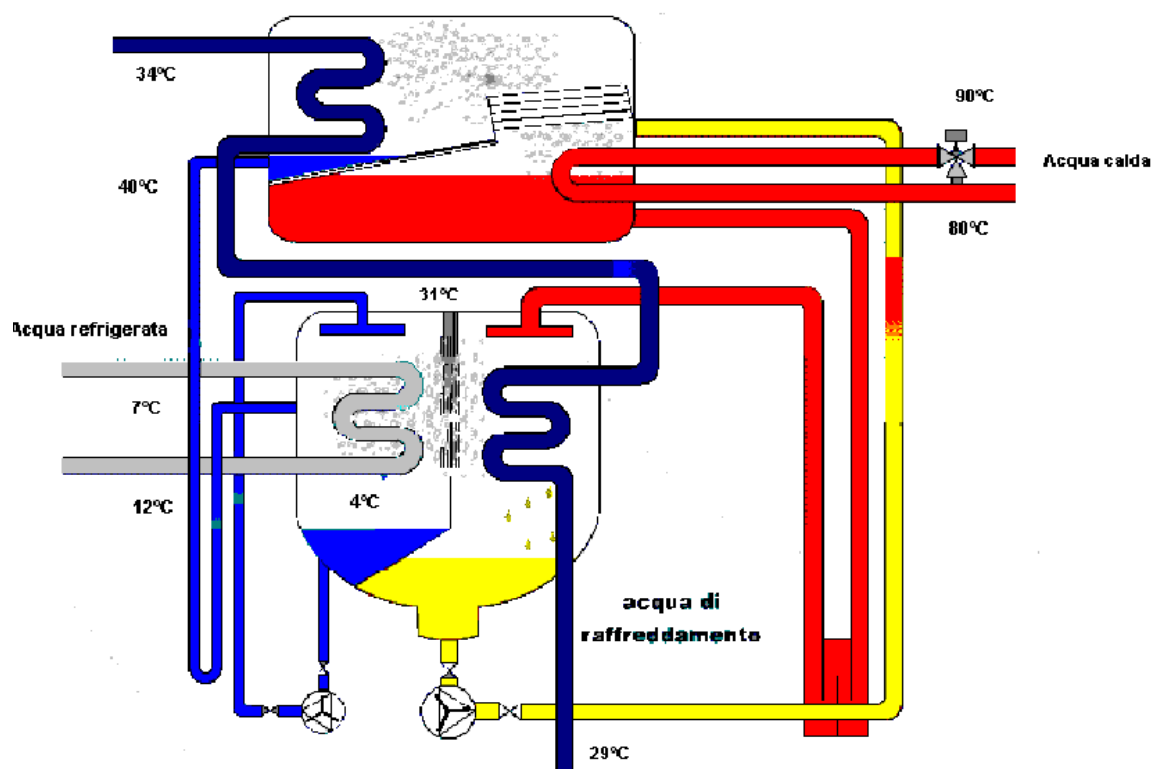


Figura 278: Schema di una macchina ad assorbimento

Per effetto del calore Q_g ceduto al serbatoio superiore (detto generatore) si libera NH_3 allo stato quasi puro e ad alta pressione. L'ammoniaca inizia così il ciclo classico di condensazione, laminazione ed evaporazione (presente anche nel ciclo frigorifero a compressione di vapori saturi).

Figura 279: Ciclo di macchina ad assorbimento ad acqua e $BrLi$

All'uscita dell'evaporatore l' NH_3 si ricombina nel serbatoio inferiore, detto assorbitore, con la miscela acqua-ammoniaca impoverita e recuperata dal serbatoio superiore (tramite una valvola di laminazione dal momento che in basso c'è una pressione inferiore rispetto a quella che insiste in alto). La reazione di assorbimento è di tipo esotermico e quindi cede calore Q_a all'esterno.

Una pompa provvede a riportare la miscela di acqua e ammoniaca ricomposta al generatore e si riprende il ciclo. In definitiva si hanno quindi due cicli: quello interno tra generatore e assorbitore e quello esterno che produce l'effetto frigorifero all'evaporatore. Il coefficiente che definisce il rendimento di tale macchina è il **GUE**, dall'inglese "**Gas Utilization Efficiency**", che è il rapporto tra l'energia fornita e l'energia consumata al generatore. Le macchine ad assorbimento possono essere utilizzate in presenza di cascami termici ovvero "rifiuti" termici di altri processi di lavorazione industriale o di produzione in genere.

L'utilizzo come pompa di calore risulta conveniente negli impianti cogenerativi perché queste macchine trasformano un carico elettrico (quello dei compressori tradizionali alimentati ad energia elettrica) in un carico termico (quello del generatore) e quindi consentono di avere sia caldo che freddo con sola energia termica.

Il vantaggio delle pompe di calore ad assorbimento consiste nel non avere organi in movimento e, soprattutto, di trasformare un carico normalmente di tipo elettrico (compressore frigorifero tradizionale) in un carico termico.



Figura 280: Esempio di pompa di calore ad assorbimento alimentata a gas

Si può usare anche cascame termico derivanti da processi industriali o, più proficuamente, da sistemi di cogenerazione (vedi Volume 4° sulle Fonti di Energia Rinnovabili, FER).

Per le pompe di calore a gas si suole indicarne l'efficienza mediante il **GUE (Gas Utilization Efficiency)** che è il rapporto fra l'energia termica ottenuta al condensatore. e l'energia termica fornita al generatore.

FUNZIONAMENTO IN RISCALDAMENTO⁽¹⁾

Punto di funzionamento A7/W35	GUE efficienza di utilizzo del gas ⁽²⁾	%	150
	potenza termica	kW	37,8
Punto di funzionamento A7/W50	GUE efficienza di utilizzo del gas	%	140
	potenza termica	kW	35,3
Portata acqua nominale ($\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)		m ³ /h	3,04
Perdita di carico alla portata acqua nominale (con acqua in mandata a 50 °C)		kPa	29
Temperatura uscita acqua massima ($\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)		°C	60
Temperatura ingresso acqua massima/minima		°C	50/20
Temperatura aria esterna (bulbo secco) massima/ minima		°C	35/-20

Figura 281: Dati nominali di una pompa di calore ad assorbimento alimentata a gas

Queste pompe di calore possono validamente sostituire i generatori termici tradizionali ed essere installati facilmente negli edifici, come illustrato in Figura 282.



Figura 282: Esempi di installazione di una pompa di calore a gas



Figura 283: Macchina ad assorbimento commerciale

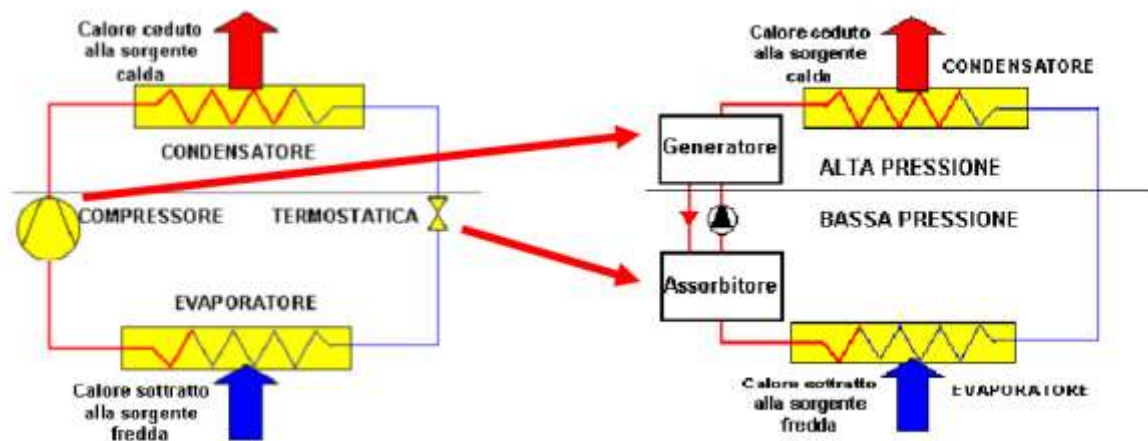


Figura 284: Confronto fra ciclo a compressore e ad assorbimento

11.8 TIPI DI FLUIDI TERMOMETTORI

I fluidi termovettori principali sono l'acqua e l'aria; in alcuni impianti si servono anche di fluidi frigorigeni del tipo HCFC (*Hydro-cloro-fluoro-carbide*) utilizzati per gli impianti frigoriferi e a pompa di calore. Vediamo qui brevemente le loro caratteristiche d'uso e le implicazioni progettuali per le reti di trasporto del fluido termovettore che qui abbiamo più volte chiamato *reti di distribuzione*.

11.8.1 CIRCUITI AD ACQUA

E' il fluido più utilizzato, assieme all'aria, per le sue caratteristiche chimico-fisiche ottimali. Essa ha il maggior calore specifico a pressione costante (4186 J/kg.K), un'elevata *massa volumica* (1000 kg/m^3), è inodore, insapore, chimicamente non aggressiva, economica e facilmente reperibile. L'acqua può, quindi, essere facilmente trasportata con piccole sezioni di passaggio delle tubazioni: vale la relazione di continuità:

$$\dot{m} = \rho w S \quad [89]$$

con:

- ρ *massa volumica, (kg/m^3),*
- w *velocità del fluido, (m/s),*
- S *sezione di passaggio del condotto, (m^2).*

Ne consegue che, per data portata di fluido $\dot{m}$, si ha per l'acqua una sezione di passaggio circa 1000 volte inferiore, a parità di velocità w e portata, rispetto all'aria che ha $\rho = 1.27 \text{ kg/m}^3$. Ciò significa che i tubi per il trasporto dell'acqua, ad esclusione dei tronchi principali che debbono smaltire grosse portate, sono di dimensioni dell'ordine del *centimetro* e quindi in genere facilmente occultabili all'interno delle murature.

Pompa di circolazione

La potenza di pompaggio per le reti di distribuzione ad acqua risulta notevolmente inferiore, in condizioni di pari confronto, rispetto a quella delle reti ad aria (*Vedi Capitolo sulle Reti di distribuzione*). Risulta, infatti, che la potenza della pompa di circolazione è data dalla relazione:

$$P = \frac{\Delta p_{\text{tot}} \cdot \dot{m}}{\rho \cdot \eta_p} \quad (\text{W}) \quad [90]$$

ove si ha:

- Δp_{tot} *caduta di pressione totale ai capi della pompa di circolazione, (Pa),*
- ρ *massa volumica del fluido, (kg/m^3),*
- $\dot{m}$ *portata massica del fluido, (m/s),*
- η_p *rendimento isoentropico di compressione della pompa.*



Figura 285: Pompa di circolazione

Essendo ρ per l'acqua pari a 1000 kg/m^3 (numero *magico* da ricordare *sempre!*) contro 1.27 kg/m^3 nelle condizioni di esercizio delle reti di distribuzione dell'aria negli impianti di condizionamento si giustifica quanto sopra detto. Anche le dimensioni delle pompe sono inferiori rispetto alle *soffianti* per l'aria. Inoltre la circolazione dell'acqua, se la rete è stata correttamente progettata mantenendo le velocità del fluido basse (dell'ordine di $1\div 2 \text{ m/s}$), è anche meno rumorosa della circolazione dell'aria nei canali, soprattutto per effetto della non eccessiva rigidità dei canali rispetto a quella dei tubi in acciaio. Per altri argomenti sulle pompe di circolazione si rimanda ai manuali specializzati e ai dati forniti dalla Case Costruttrici.

Selezione della pompa di circolazione

Per la selezione di una pompa di circolazione occorre conoscere la prevalenza massima necessaria per la rete di distribuzione dell'acqua ad essa collegata. Si utilizza, quindi, un abaco, fornito dal costruttore, che riporta le curve caratteristiche dei circolatori prodotti.

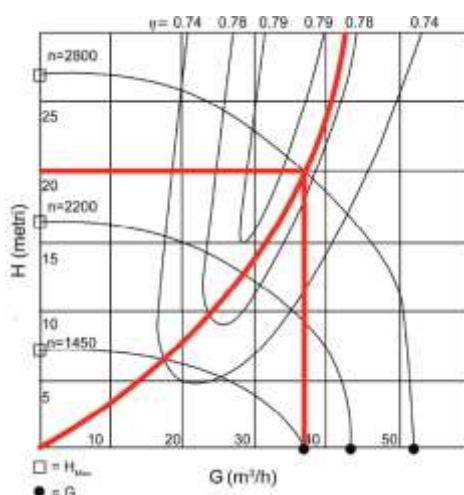


Figura 286: Curve caratteristiche di una pompa di circolazione

Il punto di lavoro della pompa è solitamente scelto sul cosiddetto ginocchio della curva caratteristica selezionata (di solito quella con reostato in posizione intermedia).

Collettori di centrale

Molto spesso dalla centrale termica si dipartono più circuiti di alimentazione. In questo caso si utilizzano i collettori di centrale (manifold) che consistono in grossi tronchi di tubazione, di diametro opportuno, dai quali si dipartono i vari circuiti dell'impianto.

I collettori di centrale debbono praticamente fungere da nodo di partenza (o di arrivo) delle tubazioni dei vari circuiti senza produrre cadute di pressione. I circuiti sono di fatto in parallelo fra il nodo di partenza e quello di arrivo. Ricordando (vedi Volume 3°) che vale la relazione di Darcy sulle cadute di pressione:

$$\Delta p = k \frac{m^2}{d^5}$$

Le cadute di pressione sono proporzionali al quadrato delle portate e inversamente proporzionali alla quinta potenza dei diametri. Pertanto un diametro doppio rispetto ad un altro ha una caduta di pressione, a parità di tutto, di circa il 3,12% rispetto al primo.

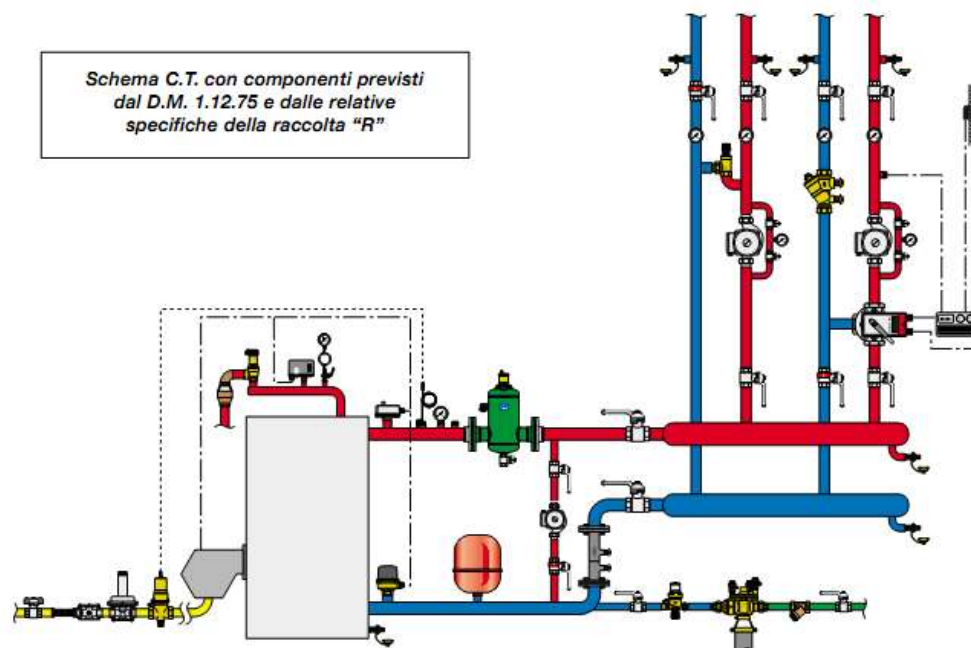


Figura 287: Esempio di centrale termica con collettori di centrale

Ne consegue che un collettore di centrale deve avere un diametro di almeno il doppio del maggiore diametro dei circuiti collegati. Così se il diametro maggiore dei circuiti è di 50 mm allora il collettore deve avere un diametro di almeno 100 mm. Il collettore risulta lungo a sufficienza per contenere gli attacchi dei circuiti collegati e per l'inserimento della strumentazione di controllo (termometri e barometri). Ha i fondi bombati ed un tubo di scarico. Per diametri fino a circa 3" si possono trovare collettori di centrali già pronti in commercio, per valori maggiori occorre costruirli sul posto. I collettori di centrale servono anche per i circuiti di acqua fredda in partenza dai refrigeratori d'acqua.



Figura 288: Esempi di collettori di centrale

Separatori Idraulici

I separatori idraulici hanno la funzione di rendere indipendenti i vari circuiti dell'impianto onde evitare interferenze e disturbi reciproci. Si osservi la situazione di Figura 289. Indichiamo con Δp la

differenza di pressione fra i due collettori (di mandata e di ritorno). Man mano che si inseriscono le pompe varia la differenza di pressione fra i collettori.

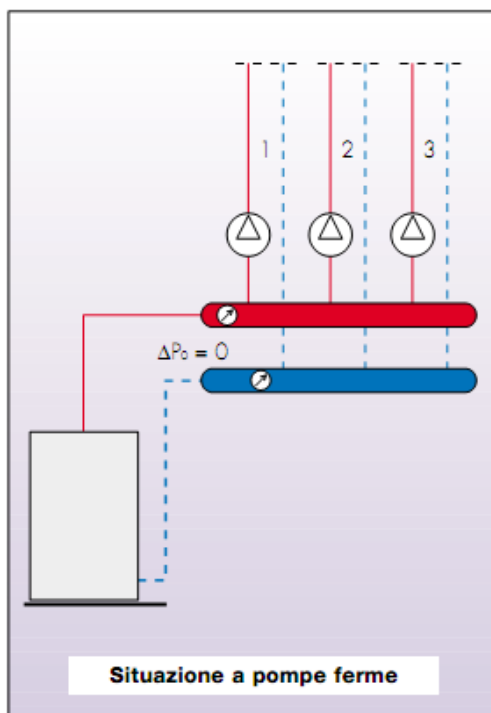


Figura 289: Situazione dei circuiti a pompe ferme

Con pompe tutte ferme il fluido all'interno delle tubazioni si mantiene fermo. Se attiviamo una pompa, vedi Figura 290, varia il Δp che risulta pari a quello creato dalla pompa per far circolare l'acqua nel suo circuito. La stessa differenza di pressione si ha anche ai capi degli altri due circuiti con pompa ferma e questa può attivare una circolazione del fluido non desiderata.

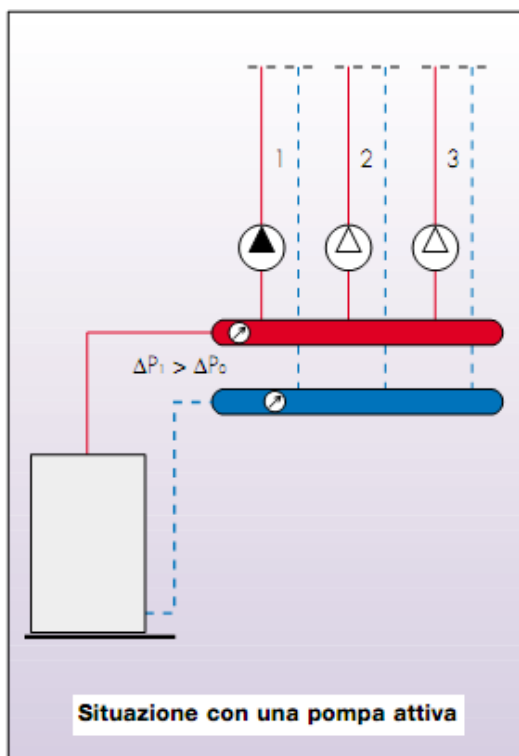


Figura 290: Situazione con una pompa attiva

Se vogliamo attivare la seconda pompa dobbiamo fare in modo che questa sopravvinca il Δp creato dalla prima pompa ed esistente fra i due collettori. L'attivazione della seconda pompa incrementa il Δp esistente fra i due collettori.

Se, infine, desideriamo attivare la terza pompa dobbiamo vincere il Δp creato dalle prime due pompe e comunque si incrementa il Δp fra i due collettori.

Possiamo concludere che l'inserimento delle pompe presenti nei circuiti che si dipartono dai collettori di centrale incrementa il Δp e al tempo stesso si crea un'interferenza fra i vari circuiti.

Le interferenze dipendono dalle caratteristiche delle varie pompe. In particolare la presenza di pompe grandi e piccole può rendere quest'ultime incapaci di attivarsi perché non ce la fanno a vincere il Δp delle pompe grandi. Questo stato di impotenza può portare anche alla bruciatura delle pompe.

Le cose migliorano e i circuiti si stabilizzano modificando lo schema di Figura 289 inserendo un separatore idraulico, come indicato in Figura 292. Il separatore idraulico è un grosso cilindro che ha il compito di annullare, praticamente, le cadute di pressione fra il circuito di mandata e quello di ritorno. Per conseguenza il Δp fra la mandata ed il ritorno dei collettori di centrale è pari alla caduta di pressione del separatore idraulico. Questo valore è bassissimo, quasi nullo.

Questo dispositivo, pertanto, equalizza i circuiti evitando i fenomeni di interferenze anzidette. Fra l'altro i Δp delle pompe non devono più considerare le cadute di pressione del circuito di caldaia perché quasi nulle. Si annullano anche i problemi di bilanciamento dei circuiti.

Il separatore idraulico deve, tuttavia, evitare il by pass fra la mandata e il ritorno dell'acqua calda e quindi debbono essere progettati e costruiti in modo opportuno. Esso deve creare una zona a ridotta perdita di carico per rendere indipendenti i circuiti delle pompe a valle.

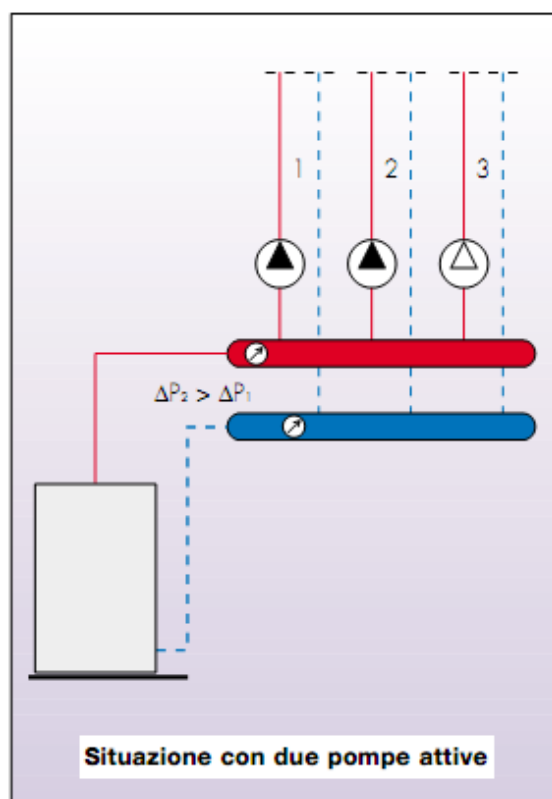


Figura 291: Situazione con due pompe attive

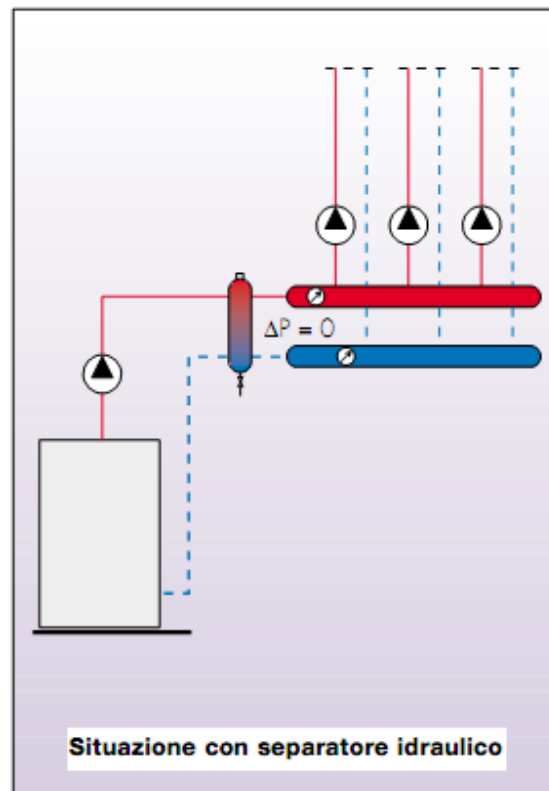


Figura 292: Situazione con separatore idraulico

Con riferimento alla Figura 294, al variare delle portate del circuito primario e secondario si hanno le situazioni di Figura 295.

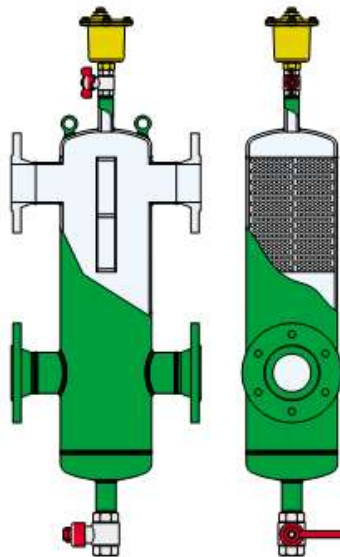


Figura 293: Separatore idraulico

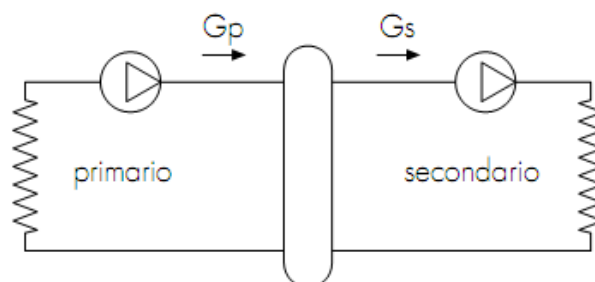


Figura 294: Schema di funzionamento di un separatore idraulico

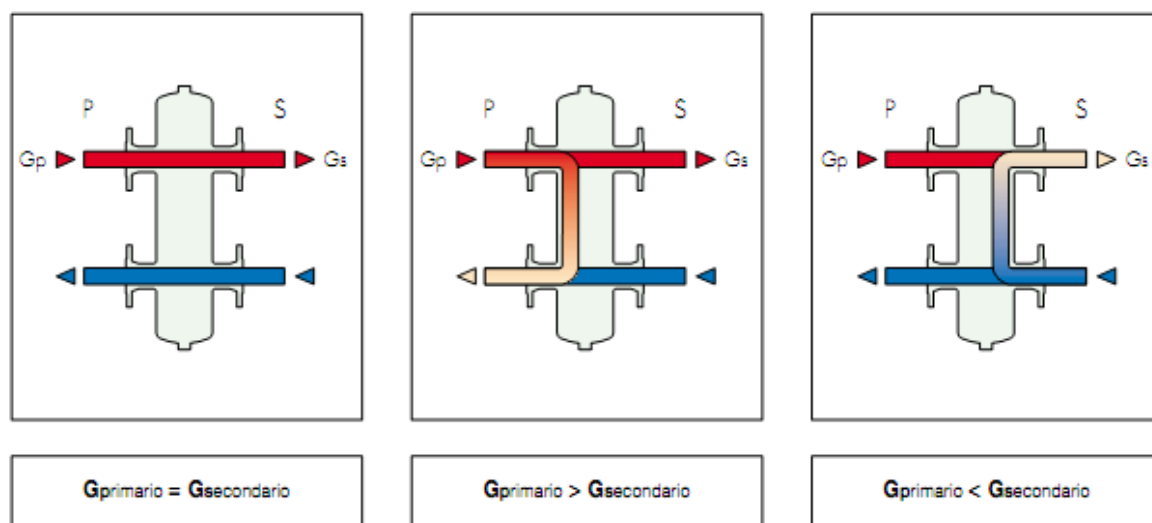


Figura 295: Funzione di separazione in funzione delle portate

11.8.2 CIRCUITI AD ARIA

Anche l'aria è utilizzata moltissimo negli impianti termici per le sue caratteristiche chimico-fisiche ben conosciute e per le sue qualità termofisiche. Certo rispetto all'acqua, come già osservato nel precedente paragrafo, si hanno condizioni meno favorevoli ma la diffusione dell'aria nell'atmosfera, la mancanza di pericolosità negli impianti in caso di fughe e il grado di affidabilità che deriva dal suo uso la rendono un fluido termovettore indispensabile e tecnicamente vantaggioso.

Valgono tutte le osservazioni già fatte in precedenza e che qui si riassumono.

- *Le dimensioni dei canali sono, per effetto della legge di continuità, non trascurabili e in ogni caso grandi rispetto a quelle corrispondenti per l'acqua. Le dimensioni dei tratti terminali sono dell'ordine di 30x40 cm² mentre i tronchi principali possono avere dimensioni dell'ordine di 2÷3 m di larghezza e di 60÷100 cm di altezza (con riferimento alle sezioni rettangolari). Pertanto, e lo ribadisce ancora una volta con forza, i canali d'aria non sono mascherabili facilmente nelle strutture edilizie ma richiedono sempre uno studio attento ed accurato dei passaggi (a soffitto o a parete) al piano e nell'attraversamento dei piani (cavedi tecnici). Un progetto architettonico che non preveda accuratamente questi spazi è destinato ad avere mutilazioni e superfetazioni visibili ed antiestetiche. Si guardi con attenzione la Figura 274 dove si hanno, in scala esecutiva, le dimensioni dei canali per un semplice appartamento. Si pensi alle dimensioni dei canali nei tronchi principali di un grande edificio (scuola, ospedale, uffici, ...): non si può più nascondere tutto con qualche controsoffitto ma occorre prevedere fin dall'inizio della fase progettuale le vie di passaggio, orizzontali e verticali, di canali di dimensioni di metri!*
- *La potenza di soffiaggio non è trascurabile (rispetto a quella delle reti ad acqua a pari condizioni) e le dimensioni delle soffianti sono notevoli e richiedono più attenzione progettuale.*
- *Le dimensioni delle superfici di scambio termico, per effetto della trasmittanza termica minore, sono ben maggiori di quelle per l'acqua.*

Va qui osservato che spesso gli impianti di climatizzazione debbono utilizzare l'aria quale fluido termovettore per soddisfare alle esigenze di ricambio d'aria imposto dalle norme per i locali pubblici.

Ad esempio per le scuole le norme prevedono che si abbiano ricambi orari variabili da 2.5 a 5. Ciò significa che, oltre al riscaldamento e alla climatizzazione in genere, occorre garantire un ricambio d'aria fisiologico non indifferente e in ogni caso non più ottenibile per ricambio naturale attraverso i battenti sottoporta e attraverso le aperture casuali degli infissi.

Un'aula di dimensioni $6 \times 6 \times 3 = 54 \text{ m}^3$ richiede una portata di ventilazione, nel caso di scuole superiori con $n=5$, pari a ben $270 \text{ m}^3/\text{h}$ e quindi è necessario avere un impianto di ventilazione. Ma allora perché non utilizzare quest'impianto anche per il riscaldamento? L'aria di riscaldamento può anche essere di ventilazione (è uno dei punti di forza di questo tipo di impianti!) e quindi sorge spontanea la necessità di impianti di termoventilazione ad aria.

11.8.3 UNITÀ DI TRATTAMENTO ARIA (UTA)

Le unità di trattamento aria (UTA) possono essere presenti negli impianti di riscaldamento quando si utilizza l'aria come fluido termovettore, si hanno, pertanto, gli impianti di termoventilazione.

Questi si rendono spesso necessari quando bisogna assicurare un ricambio d'aria elevato ($n > 0,5$ e quindi per edifici non residenziali) come, ad esempio, nelle scuole di ogni grado, negli uffici, negli ospedali, nei tribunali, ...

La termoventilazione è spesso associata ad impianti di condizionamento estivi (raffrescamento estivo) e pertanto le UTA si selezionano per entrambe le esigenze impiantistiche.

Le UTA si possono considerare tratti di canali d'aria attrezzati con dispositivi atti ad effettuare le trasformazioni psicrometriche dell'aria necessarie per la climatizzazione. Si vedranno nel Volume 2° queste trasformazioni, per il momento consideriamo le UTA invernali. Solitamente queste contengono al loro interno la sezione di plenum, la sezione filtrante, la batteria di riscaldamento (si esclude per il momento il condizionamento invernale che sarà visto in seguito) ed una sezione ventilante.

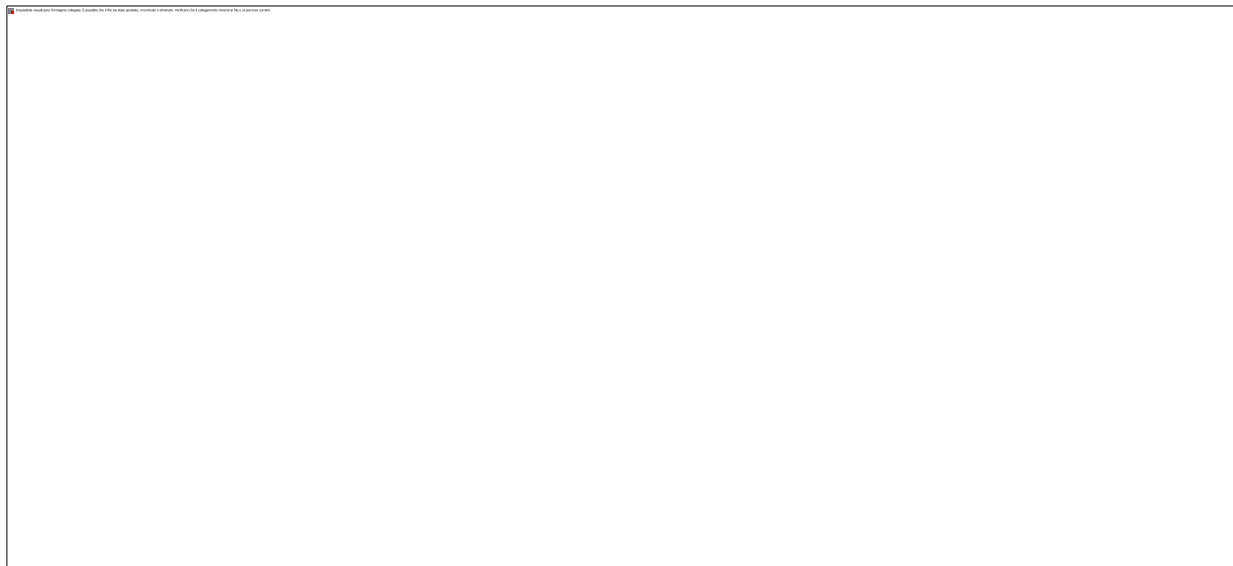


Figura 296: Esempio di Unità di Trattamento Aria

Selezione dell'UTA

La selezione dell'UTA viene eseguita conoscendo la portata totale di aria da trattare ed imponendo la velocità di attraversamento della stessa. In pratica si applica la nota relazione di continuità:

$$\dot{m} = \rho w S$$

ove:

- ρ è la densità dell'aria (standard 1,29 kg/m³);
- w è la velocità dell'aria nel condotto, m/s;
- S è la sezione di passaggio del condotto, m².

Da questa relazione, nota $\dot{m}$ e w si calcola S .

Tuttavia i costruttori forniscono le UTA con sezioni imposte da serie costruttive e pertanto la sezione di passaggio viene imposta secondo tali serie.

La velocità di attraversamento viene imposta fra 1,5 e 3,5 m/s tenendo presente che una velocità bassa porta ad avere sezioni maggiori ma rumorosità inferiore. L'esperienza e le esigenze impiantistiche indicheranno il valore ottimale (solitamente 2,5 m/s). In Figura 300 si ha un esempio di abaco per la selezione della sezione effettiva dell'UTA, cioè della sua "classe".

Qualche volta si utilizzano tabelle come quella riportata in Tabella 58. Una volta selezionata la sezione effettiva di passaggio, cioè la sua classe, tutte le apparecchiature all'interno dell'UTA avranno la stessa sezione di passaggio e pertanto il Costruttore è in grado di fornire tutte le sezioni della stessa classe.

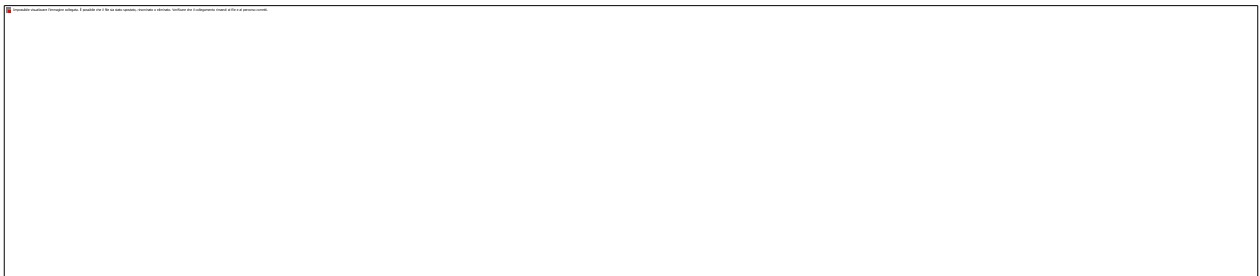


Figura 297: Esempio di sezione di un'UTA

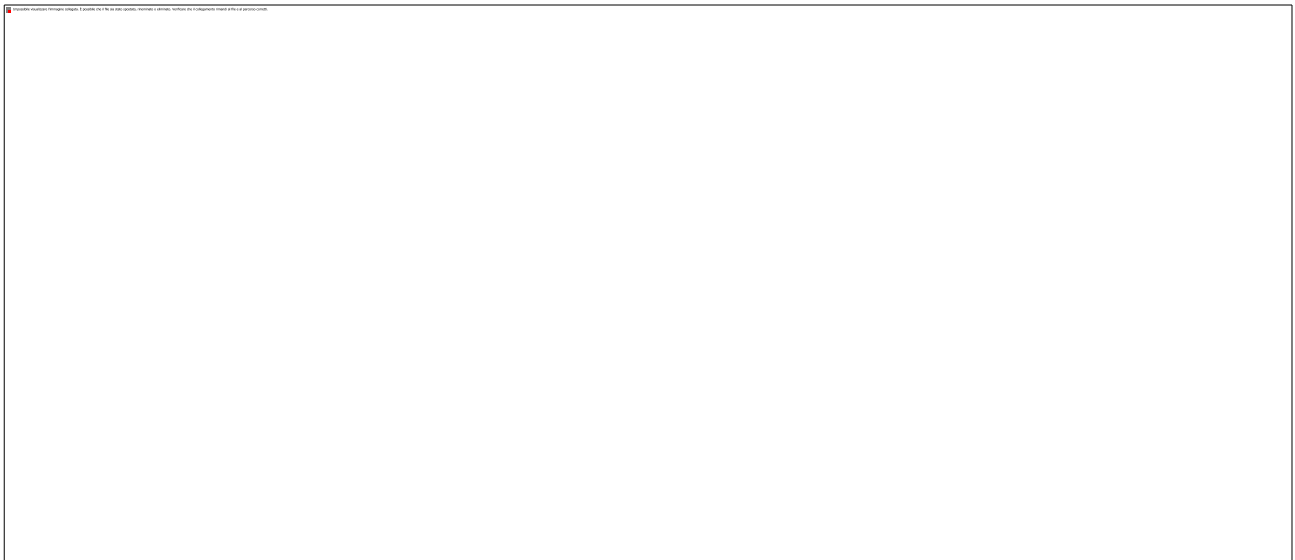


Figura 298: Sezione di un'UTA con recuperatore di calore

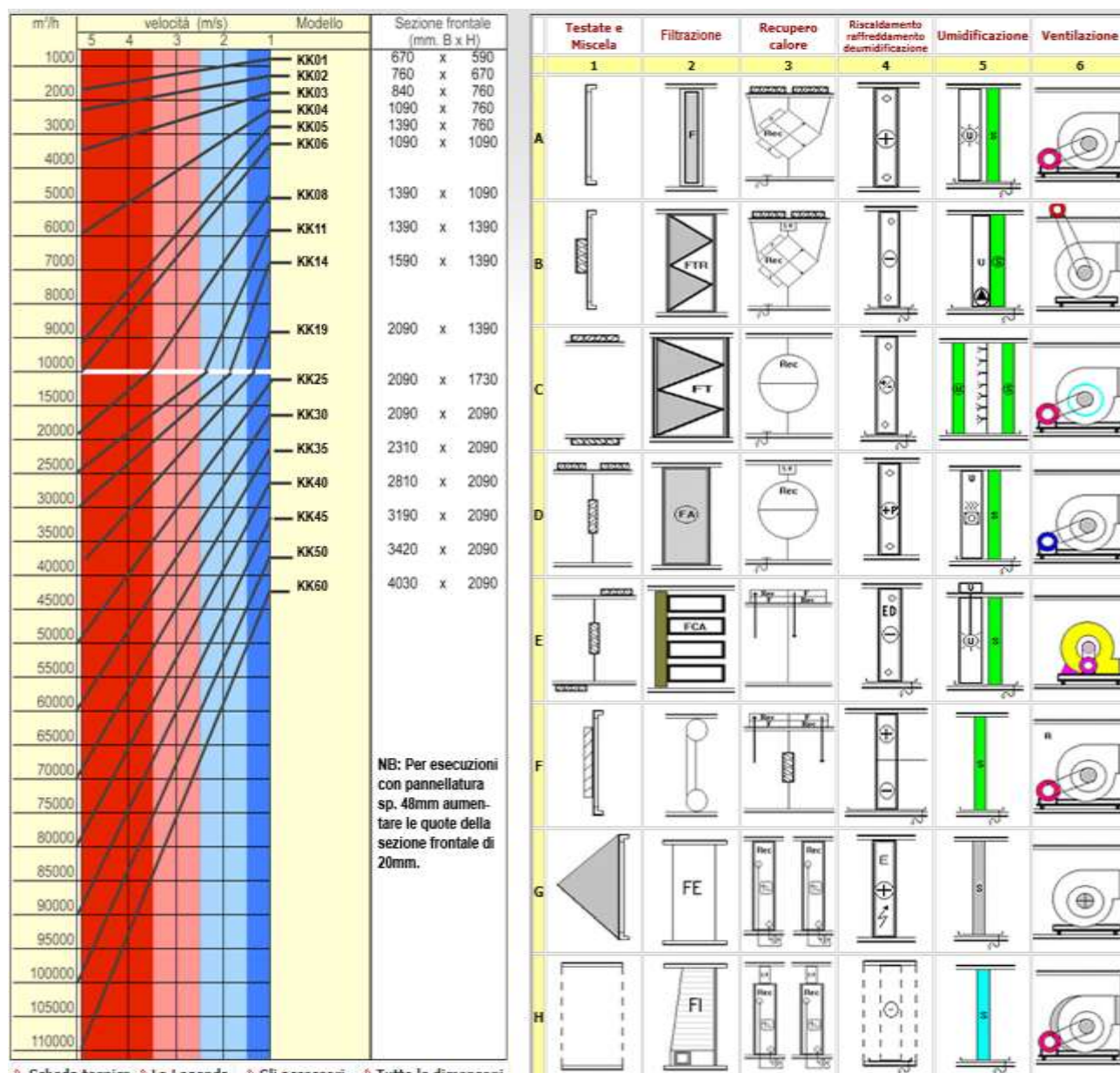


Figura 299: Abaco di selezione dell'UTA e dei suoi componenti interni

Selezione delle Batterie di riscaldamento

Le batterie di riscaldamento sono di tipo con tubi in rame ed alette in alluminio. Sono alimentate con acqua calda e riscaldano l'aria che le attraversa trasversalmente.

La potenzialità termica della batteria viene calcolata come un normale scambiatore e dipende dalle temperature di ingresso e di uscita dei fluidi di scambio (acqua all'interno ed aria all'esterno)

Vengono fornite tabelle o abachi per la selezione delle batterie in funzione anche del numero dei ranghi.

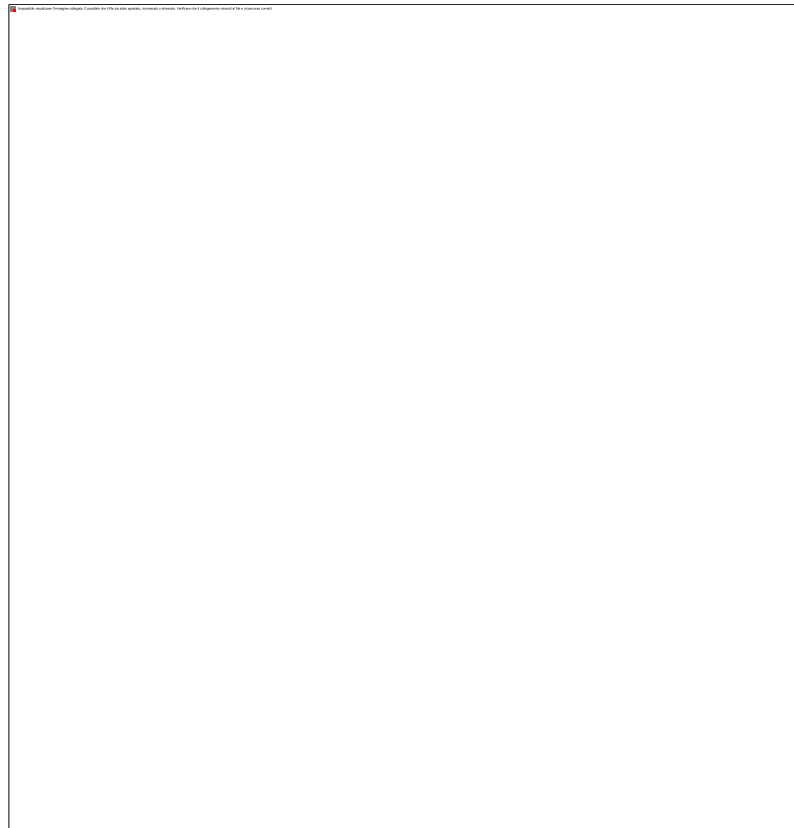


Figura 300: Abaco di selezione di un'UTA

GRANDEZZA SIZE	dimensioni dimensions L x H	sezione section Sb mq	portata aria x V (m/sec) air flow x V (m/sec)									
			2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	
CTL 20	800 x 650	0,24	1.754	1.973	2.192	2.412	2.631	2.850	3.069	3.289	3.508	
CTL 30	1050 x 650	0,33	2.389	2.688	2.986	3.285	3.583	3.882	4.181	4.479	4.778	
CTL 40	1300 x 700	0,42	3.024	3.402	3.780	4.158	4.536	4.914	5.292	5.670	6.048	
CTL 50	1050 x 800	0,48	3.456	3.888	4.320	4.752	5.184	5.616	6.048	6.480	6.912	
CTL 60	1300 x 800	0,60	4.320	4.860	5.400	5.940	6.480	7.020	7.560	8.100	8.640	
CTL 70	1550 x 800	0,75	5.400	6.075	6.750	7.425	8.100	8.775	9.450	10.125	10.800	
CTL 80	1300 x 1050	0,84	6.048	6.804	7.560	8.316	9.072	9.828	10.584	11.340	12.096	
CTL 100	1550 x 1050	1,05	7.560	8.505	9.450	10.395	11.340	12.285	13.230	14.175	15.120	
CTL 120	1800 x 1050	1,26	9.072	10.206	11.340	12.474	13.608	14.742	15.876	17.010	18.144	
CTL 140	2050 x 1050	1,47	10.584	11.907	13.230	14.553	15.876	17.199	18.522	19.845	21.168	
CTL 160	1550 x 1300	1,35	9.720	10.935	12.150	13.365	14.580	15.795	17.010	18.225	19.440	
CTL 170	1800 x 1300	1,62	11.664	13.122	14.580	16.038	17.496	18.954	20.412	21.870	23.328	
CTL 200	2050 x 1300	1,89	13.608	15.309	17.010	18.711	20.412	22.113	23.814	25.515	27.216	
CTL 220	2300 x 1300	2,16	15.552	17.496	19.440	21.384	23.328	25.272	27.216	29.160	31.104	
CTL 240	1800 x 1550	1,98	14.256	16.038	17.820	19.602	21.384	23.166	24.948	26.730	28.512	
CTL 250	2050 x 1550	2,31	16.632	18.711	20.790	22.869	24.948	27.027	29.106	31.185	33.264	
CTL 270	2300 x 1550	2,64	19.008	21.384	23.760	26.136	28.512	30.888	33.264	35.640	38.016	
CTL 300	2550 x 1550	2,90	20.909	23.522	26.136	28.750	31.363	33.977	36.590	39.204	41.818	
CTL 340	2800 x 1550	3,23	23.285	26.195	29.106	32.017	34.927	37.838	40.748	43.659	46.570	
CTL 350	2300 x 1800	3,12	22.464	25.272	28.080	30.888	33.696	36.504	39.312	42.120	44.928	
CTL 360	2550 x 1800	3,43	24.710	27.799	30.888	33.977	37.066	40.154	43.243	46.332	49.421	
CTL 380	2800 x 1800	3,82	27.518	30.958	34.398	37.838	41.278	44.717	48.157	51.597	55.037	
CTL 450	3050 x 1800	4,21	30.326	34.117	37.908	41.699	45.490	49.280	53.071	56.862	60.653	
CTL 480	2550 x 2050	3,96	28.512	32.076	35.640	39.204	42.768	46.332	49.896	53.460	57.024	
CTL 510	2800 x 2050	4,41	31.752	35.721	39.690	43.659	47.628	51.597	55.566	59.535	63.504	
CTL 530	3050 x 2050	4,86	34.992	39.366	43.740	48.114	52.488	56.862	61.236	65.610	69.984	
CTL 570	2800 x 2300	5,00	35.986	40.484	44.982	49.480	53.978	58.477	62.975	67.473	71.971	
CTL 600	3050 x 2300	5,51	39.658	44.615	49.572	54.529	59.486	64.444	69.401	74.358	79.315	
CTL 700	3050 x 2550	6,16	44.323	49.854	55.404	60.944	66.485	72.025	77.566	83.106	88.646	
CTL 800	3800 x 2550	7,98	57.466	64.638	71.820	79.002	86.184	93.366	100.548	107.730	114.912	
CTL 900	4300 x 2550	9,12	65.664	73.872	82.080	90.288	98.496	106.704	114.912	123.120	131.328	
CTL 1000	4800 x 2550	10,26	73.872	83.106	92.340	101.574	110.808	120.042	129.276	138.510	147.744	

Tabella 58: Tabella di selezione di un'UTA

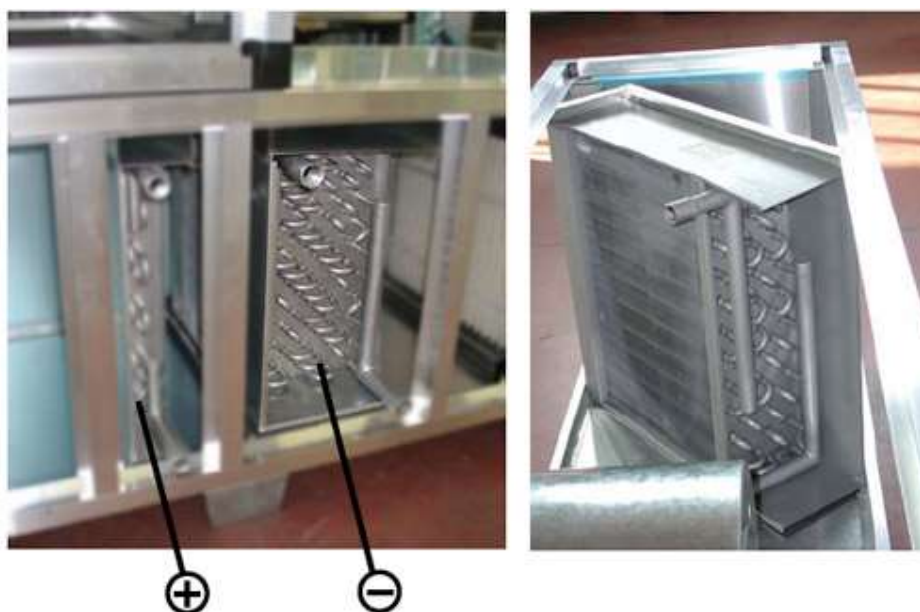


Figura 301: Vista delle batterie di scambio all'interno dell'UTA

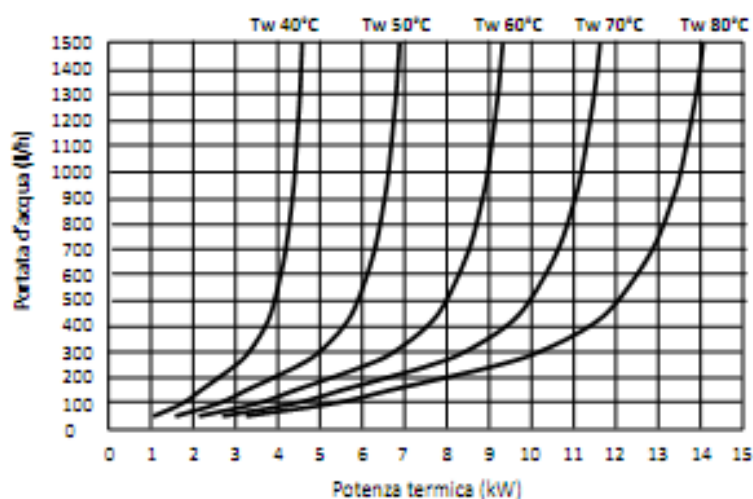


Figura 302: Abaco di selezione delle batterie calde

Selezione dell'Unità Ventilante

Negli impianti di termoventilazione o in quelli ad aria primaria si hanno reti di distribuzione dell'aria, ciascuna alimentata da un ventilatore di mandata posto all'interno di un'Unità di Trattamento Aria (UTA).

La selezione delle UTA viene meglio sviluppata nel Volume 2° sul Condizionamento. Per la selezione del ventilatore dell'aria, scelto la tipologia di ventilatore (a pale in avanti, a pale rovesce ed elicoidale) si utilizzano le curve caratteristiche messe a disposizione dal costruttore. In questo caso si ha una famiglia di curve al variare della velocità del ventilatore.

Nella scelta del ventilatore occorre conoscere la differenza di pressione in uscita, Δp utile, e cercare un punto di lavoro nella zona di massima efficienza.

Poiché i ventilatori sono rumorosi (Vedi Volume 3°) e questa rumorosità si trasmette nei canali e quindi negli ambienti, è bene selezionare il ventilatore con un basso numero di giri.

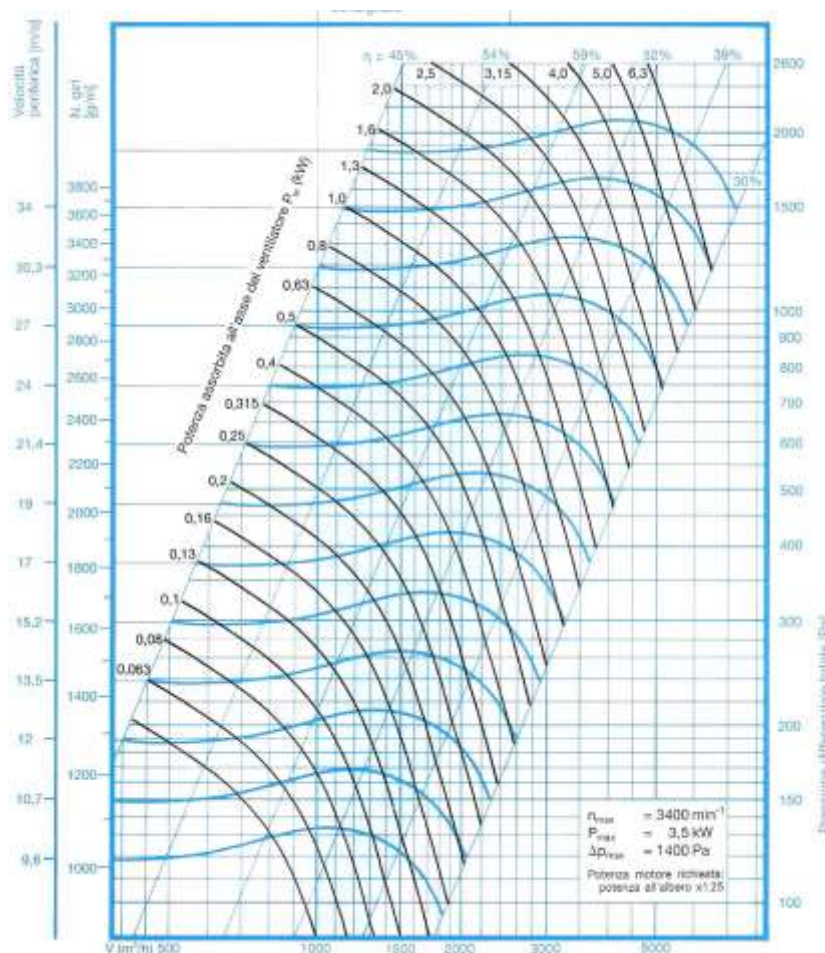


Figura 303: Curve caratteristiche di un ventilatore di mandata

11.9 CORPI SCALDANTI

11.9.1 RADIATORI

Sono gli elementi terminali più utilizzati e possono essere in ghisa, in alluminio o leghe di acciaio. Essi sono alimentati con acqua a temperatura di entrata $80 \div 90$ °C e di uscita di $70 \div 80$ °C. La loro selezione⁶² deve tenere conto di vari criteri e fattori progettuali quali, la resa termica (solitamente certificata dal costruttore), l'estetica, il costo, la durata, l'affidabilità. Una cattiva abitudine che l'ignoranza alimenta è quella di rendere le superfici dei radiatori speculari mediante vernici metalliche (ciò abbassa l'emissività della superficie) o di racchiuderli in cassonetti con piccolissime fessure di aerazione o addirittura annegarli in vere e proprie nicchie murarie e murarli con pannelli trapuntati di stile arabeggiante: il riscaldamento ambientale non è più dovuto, in questi casi, a fatti fisici ma a *fenomeni psicofisici*.

I radiatori vanno posti, per il miglior rendimento termico e per il miglior comfort ambientale, nelle pareti interne e non sotto le finestre come spesso viene fatto. La loro collocazione in pianta deve essere ben studiata in funzione dell'arredamento, del senso di apertura delle porte e della

⁶² Normalmente in fase di progetto dell'impianto si selezionano i componenti dai cataloghi commerciali. Così avviene per i generatori di calore, per le pompe e le soffianti, per le tubazioni e per i terminali. Non è pensabile costruire un radiatore di superficie qualunque poiché avrebbe costi elevatissimi. Meglio selezionare i radiatori dai cataloghi commerciali dei vari fornitori. Questo fatto introduce tutta una serie di problemi per via della discretizzazione delle serie commerciali dei prodotti: se occorre un radiatore da 454 W occorre selezionare fra i due della serie commerciale disponibili di 400 e 500 W.

disponibilità di allacciamento alla rete di distribuzione dell'acqua calda. In ogni caso si tratta di elementi terminali di tecnologia diffusa, affidabili, economici e facilmente manutenzionabili.

Le capacità di scambio termico dell'acqua sono elevate e certamente superiori a quelle dell'aria. Basti pensare che il coefficiente di convezione termica per l'acqua risulta notevolmente più elevato rispetto a quello per l'aria.

Ne consegue che le superfici di scambio termico sono inferiori, a parità di potenza scambiata, rispetto a quelle per l'aria.

La relazione di scambio è, infatti:

$$Q = K \cdot S \cdot \Delta T_{ml} \cdot F \quad [91]$$

ove è:

- K *trasmissanza termica di scambio fra fluido interno (acqua e quindi più elevato rispetto a quello corrispondente con l'aria) e l'aria ambiente, (W/m²K);*
- S *superficie di scambio termico, (m²);*
- ΔT_{ml} *differenza di temperatura media logaritmica fra le condizioni di ingresso e uscita del fluido primario e quella del fluido secondario, $\Delta T_{ml} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}}$ con: $\theta = t_{f_1} - t_{f_2}$, (K);*
- F *fattore di configurazione per il tipo di scambiatore considerato (F=1 per scambiatori ideali in controcorrente). I valori di F sono dati dai manuali specializzati per le varie geometrie degli scambiatori di calore.*

A parità di tutto, se K è maggiore risulta S minore ed è quello che succede quando si utilizza l'acqua come fluido primario, cioè fluido termovettore.

La selezione dei corpi scaldanti viene effettuata mediante cataloghi commerciali a seconda delle tipologie disponibili. Queste sono:

- *in ghisa*
- *in acciaio*
- *in alluminio*

Di solito si pone lo scambio termico nella forma:

$$Q_{CS} = C \Delta T_{cs-amb}^n$$

ove si ha:

- - ΔT_{cs-amb} *differenza di temperatura fra la T_{media} del corpo scaldante e l'aria ambiente;*
- - C *coefficiente di scambio termico;*
- - n *esponente che dipende dal corpo scaldante.*

L'esponente n è fornito dai Costruttori dei corpi scaldanti con riferimento ad uno scambio nominale (EN 442) di 50 °C fra corpo scaldante ed ambiente.

Di solito i costruttori forniscono i dati di riferimento supponendo un $\Delta T = 60$ °C nella [91]. La potenzialità standard così determinata va corretta per tenere conto della reale differenza di temperatura nella rete di distribuzione.

La relazione da utilizzare è la seguente:

$$Q_{RN} = C \Delta t^n = C 60^n \quad [92]$$

con esponente n variabile da 1.25 a 1.30.

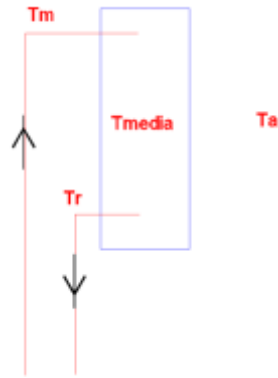


Figura 304: Schema di collegamento di un terminale



Figura 305: Esempio di installazione di un radiatore



Figura 306: Valvola termostatica per radiatore



Figura 307: Valvola di sfiato d'aria automatico per radiatore

Pertanto la potenzialità nominale da adottare quando si ha un Δt diverso da $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ è data dalla relazione:

$$Q_{RN} = Q_R \left(\frac{60}{\Delta t} \right)^n \quad [93]$$

I costruttori possono anche fornire tabelle o grafici per un più rapido calcolo delle nuove potenzialità.

Modello	Resa $\Delta T=50$ EN442 [W]	n	Cont. acqua [L]	Prof.	Alt.	Inter.	Lungh.	Φ attacco [pollici]	Massa [kg]
TEMA 2-558	55	1,288	0,53	60	558	500	60	1	3,40
TEMA 2-681	69	1,287	0,60	60	681	623	60	1	3,90
TEMA 2-871	82	1,3	0,77	60	871	813	60	1	5,00
TEMA 3-400	55	1,295	0,51	94	400	342	60	1	3,70
TEMA 3-558	13	1,295	0,73	94	558	500	60	1	4,80
TEMA 3-640	84	1,3	0,75	94	640	581	60	1	5,30
TEMA 3-681	88	1,3	0,85	94	681	623	60	1	5,8
TEMA 3-790	102	1,305	0,9	94	790	731	60	1	6,5
TEMA 3-871	109	1,315	1	94	871	813	60	1	6,80
TEMA 4-558	93	1,299	0,84	128	558	500	60	1	5,80
TEMA 4-681	111	1,276	1,07	128	681	623	60	1	7,90
TEMA 4-871	137	1,331	1,34	128	871	813	60	1	8,60
TEMA 5-558	114	1,312	1,01	162	558	500	60	1	7,30
TEMA 5-681	136	1,322	1,23	162	681	623	60	1	9,00
TEMA 5-871	166	1,324	1,7	162	871	813	60	1	11,00
TEMA 8-300	103	1,326	1,18	267	300	242	60	1	6,70
NEOCLASSIC 4-571	80	1,295	0,68	141	576	500	55	1	4,65
NEOCLASSIC 4-665	92	1,309	0,74	141	669	595	55	1	5,25
NEOCLASSIC 4-871	112	1,345	0,86	141	871	800	55	1	6,89
NEOCLASSIC 6-665	134	1,3	0,96	222	665	595	55	1 1/4	8,30
NEOCLASSIC 6-871	169	1,32	1,5	222	871	800	55	1 1/4	10,80

Tabella 59: Esempio di dati per radiatori commerciali

Secondo la recente norma EN442 la potenzialità viene fornita con $\Delta t=50$ °C.

Valgono le relazioni e quant'altro detto in precedenza per il calcolo della potenzialità nominale con salti termici diversi. In Figura 305 si ha un esempio di installazione di un radiatore (nel caso particolare in ghisa, modello *TEMA Ideal Standard*). Sono visibili i tubi di adduzione dell'acqua calda, la valvola di sfiato aria (in alto) e la valvola di chiusura (in secondo piano sul lato opposto).

In particolare nei moderni radiatori si hanno direttamente montate le valvole termostatiche per la regolazione ambientale. Nei radiatori sono anche montate le valvole automatiche di sfogo aria, come rappresentato in Figura 307. In Figura 308 si hanno i dati caratteristici per radiatori in alluminio (rese termiche a 60 °C e 50 °C) e le curve per la correzione della resa termica al variare della differenza di temperatura di progetto.

Articolo	Elementi	Interasse h (mm)	Resa DIN 4704 (w)	$\Delta T = 60^{\circ}\text{C}$ (Kcal/h)	Resa DIN 4704 (w)	$\Delta T = 50^{\circ}\text{C}$ (Kcal/h)
R801/4	4	350	507	436	396	340
R801/5	5	350	634	545	495	425
R801/6	6	350	761	654	594	511
R801/8	8	350	1015	873	792	681
R801/10	10	350	1269	1091	991	852
R801/12	12	350	1522	1309	1189	1022
R803/4	4	500	664	571	518	445
R803/5	5	500	830	714	647	556
R803/6	6	500	996	856	777	668
R803/8	8	500	1328	1142	1036	891
R803/10	10	500	1661	1428	1295	1114
R803/12	12	500	1993	1713	1554	1335
R805/4	4	600	768	660	598	514
R805/5	5	600	960	825	747	642
R805/6	6	600	1152	990	897	771
R805/8	8	600	1536	1321	1196	1028
R805/10	10	600	1921	1652	1495	1286
R805/12	12	600	2305	1982	1794	1543
R807/4	4	700	871	749	676	581
R807/5	5	700	1089	936	845	727
R807/6	6	700	1306	1123	1014	872
R807/8	8	700	1742	1498	1352	1163
R807/10	10	700	2178	1873	1691	1454
R807/12	12	700	2613	2247	2029	1745

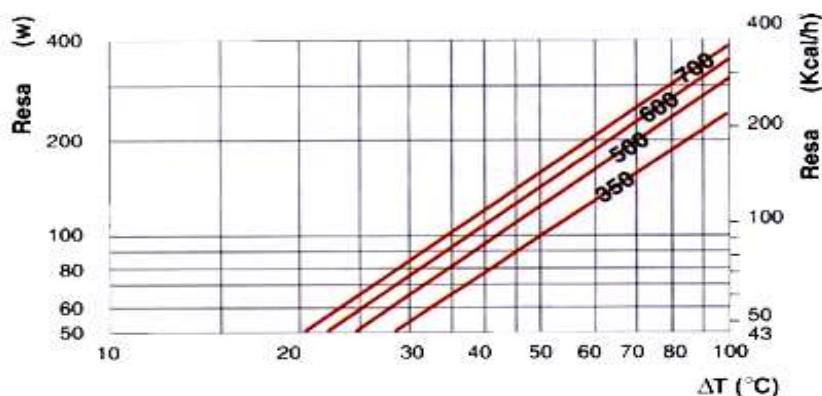


Figura 308: dati caratteristici per radiatori in alluminio

Selezione dei radiatori

Se il tipo di elemento riscaldante è ad elementi componibili (in ghisa o in alluminio) allora si utilizzano le tabelle o gli abachi forniti da Costruttore. I parametri fondamentali da utilizzare sono:

- La potenza termica richiesta dal locale, W ;
- Il salto di temperatura di progetto $\Delta T_{c-a} = \frac{T_i + T_u}{2} - T_a$ fra la temperatura media dell'acqua di alimento e l'aria ambiente, $^{\circ}\text{C}$;
- Eventuali vincoli geometrici imposti dall'architettura del locale (ad esempio altezza massima o larghezza massima del radiatore).

Le tabelle o dagli abachi, fissata l'altezza di ciascun elemento, si determina la potenza specifica emessa da quell'elemento e si ottengono tutte le altre informazioni geometriche e funzionali (profondità, numero di colonne, ...).

Si divide la potenza termica richiesta dal locale per la potenza specifica di un elemento e si ottiene, arrotondando per eccesso, il numero totale di elementi del radiatore. Se questo numero

dovesse risultare eccessivo si può suddividere il radiatore in due radiatori, opportunamente disposti nel locale.

Si tenga presente che la convezione naturale distribuisce l'aria calda lungo il gradiente termico maggiore e quindi dalla zona calda (dov'è il radiatore) alla zona più fredda della stanza. Pertanto per locali di forma allungata o di grandi dimensioni il Progettista decide a priori quanti corpi scaldanti installare e per ciascuno di essi attribuisce la potenza P_a/n con P_a potenza totale dell'ambiente ed n numero di corpi scaldanti.

11.9.2 PANNELLI RADIANTI

In questi ultimi anni si stanno diffondendo gli impianti di riscaldamento e di raffrescamento a pannelli radianti. In pratica gli elementi terminali usuali vengono sostituiti da pannelli costruiti mediante tubazioni opportunamente inserite nei pavimenti in modo da formare un pannello radiante.

Le tubazioni utilizzate, usualmente in rame o in plastica incrudita, hanno geometrie ben determinate da esigenze di trasmissione del calore. Al di sotto delle tubazioni si pone uno spessore di isolante (variabile da 45 a 60 mm) per evitare che il calore fornito dai tubi si propaghi al di sotto del pavimento. Il dimensionamento dei pannelli radianti è complesso è regolato dalla norma *EN 1264* e, recentemente, dalla *UNI-CEN 130*. In sintesi si procede così.

Dal calcolo dei carichi termici dei singoli ambienti di un edificio si calcola il carico specifico per metro quadro di pavimento (W/m^2) e si applica la relazione, indicata dalla *UNI-CEN 130*:

$$q_{\max} = 8.92 (t_{p_{\max}} - t_a)^{1.1} \quad [94]$$

ove si ha:

- $q_{\max}$ calore specifico massimo ceduto da un metro quadro di pavimenti, (W/m^2);
- $t_{p_{\max}}$ temperatura massima del pavimento, °C;
- t_a temperatura dell'aria ambiente, °C.

La temperatura massima del pavimento dipende, ovviamente, dalle condizioni di benessere ambientale e devono essere:

- $t_{p_{\max}} = 29^\circ C$ per zone di normale residenza;
- $t_{p_{\max}} = 35^\circ C$ per zone con residenza saltuaria.

Assumendo il valore di $29^\circ C$ per residenze civili e sostituendo questo valore nella precedente relazione si ottiene la regola:

$$q_{\max} = 8.92 \cdot (29 - 20)^{1.1} = 100 \text{ W/m}^2 \quad [95]$$

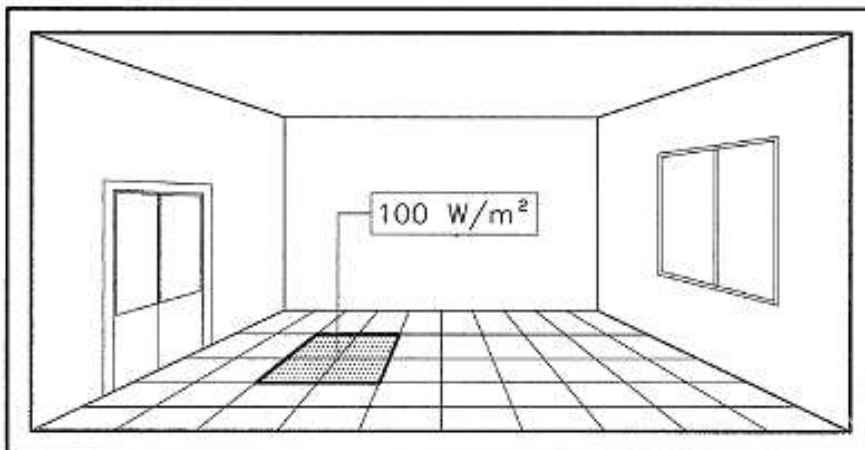


Figura 309: Potenza specifica massima di un pannello radiante

Pertanto, se si vuole mantenere le condizioni di comfort termico, la potenza specifica massima che un metro quadro di pavimento può cedere deve essere non superiore a 100 W/m^2 . Da questa osservazione scaturisce la regola pratica che ogni m^2 di superficie destinata a pannello radiante cede 100 W/m^2 . Le caratteristiche di un pannello radiante tipo sono qui brevemente riassunte:

- *Tubazione*
- *Conducibilità:* 0.035 W/mK (tubo in plastica tipo Pex)
- *Diametro interno* 16.0 mm
- *Diametro esterno* 20.0 mm
- *Interasse di posa* 7.5 cm
- *Massetto*
- *Conducibilità* 1.0 W/mK
- *Spessore sopra i tubi* 4.5 cm
- *Pavimento*
- *Non esistente (si considera come piano di calpestio quello del massetto)*

Per questo pannello tipo si ha la resa data dalla relazione:

$$Q_{\text{tipo}} = 6.7 \cdot S \cdot \Delta t \quad [96]$$

con:

- Q_{tipo} calore emesso verso l'alto dal pannello, W
- S superficie del pannello, m^2
- Δt temperatura media logaritmica fra la temperatura del fluido e l'aria ambiente data da:

$$\Delta t = \frac{t_m - t_r}{\ln \left(\frac{t_m - t_a}{t_r - t_a} \right)} \quad [97]$$

con t_m e t_r temperature di mandata e di ritorno del fluido nel pannello radiante.

Alla resa teorica data dalla precedente relazione si applicano opportuni fattori correttivi per ottenere la resa effettiva del pannello reale si deve tenere conto del tipo di tubo, della resistenza termica del pavimento, dello spessore di massetto sopra i tubi, del diametro esterno dei tubi.

Tali fattori correttivi sono dati in manuali specializzati e dalle case costruttrici dei materiali di base. I pannelli radianti risultano comodi nei casi in cui non si ha disponibilità di spazio per i radiatori o altre tipologie di terminali. In Figura 314 si ha un esempio di applicazione della tecnica a pannelli radianti in appartamenti per civile abitazioni.

Si può osservare come per ogni ambiente si abbia un pannello costruito con tubazioni avvolte in modo da riempire uniformemente i pavimenti e pertanto a geometria variabile.

L'alimentazione dei singoli pannelli viene sempre effettuata tramite collettore complanare dotato di valvole di controllo della temperatura di uscita. I pannelli radianti sono spesso utilizzati in luoghi di particolare pregio quali i teatri, le chiese e in genere in tutti quei luoghi di difficile soddisfacimento con i terminali classici.

In Figura 316 si ha un esempio di applicazione dei pannelli radianti in una chiesa. In questo caso occorre ristrutturare i pavimenti in modo da posare alla perfezione le tubazioni che formano i pannelli radianti. E' possibile osservare come la geometria dei pavimenti possa essere bene seguita dall'involuppo delle tubazioni. I pannelli radianti possono essere utilizzati anche per il raffrescamento estivo inviando acqua refrigerata ad opportuna temperatura.



Figura 310: Sistemi a pannelli radianti

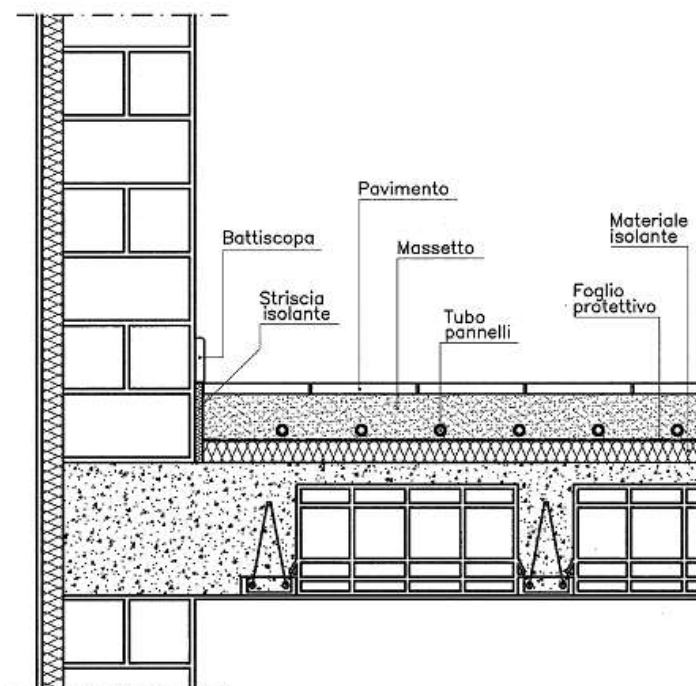


Figura 311: Schema di posa dei pannelli radianti

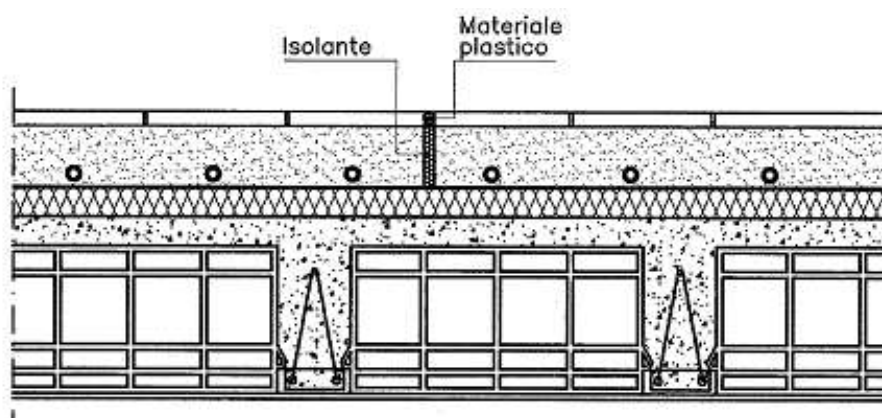


Figura 312: Esempio di giunto per pavimenti radianti

E' da ricordare, infatti, che le superfici fredde possono provocare fenomeni di condensa che avrebbero effetti deleteri sui pavimenti.

Per un maggior controllo della distribuzione le tubazioni dei pannelli radianti si dipartono da collettori complanari e pertanto si possono intercettare singolarmente.

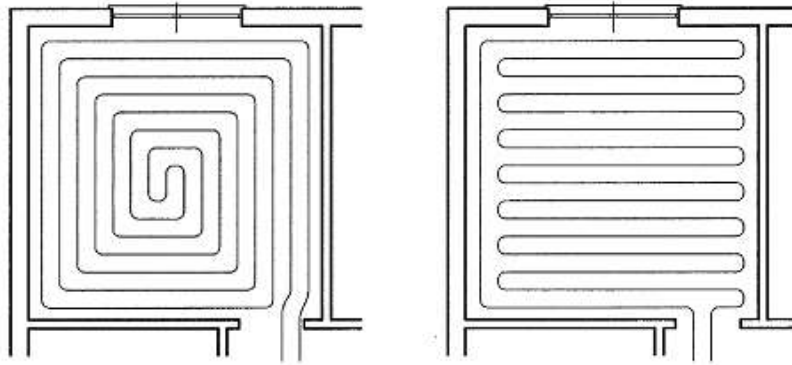


Figura 313: Schema tipo di montaggio di un pannello radiante

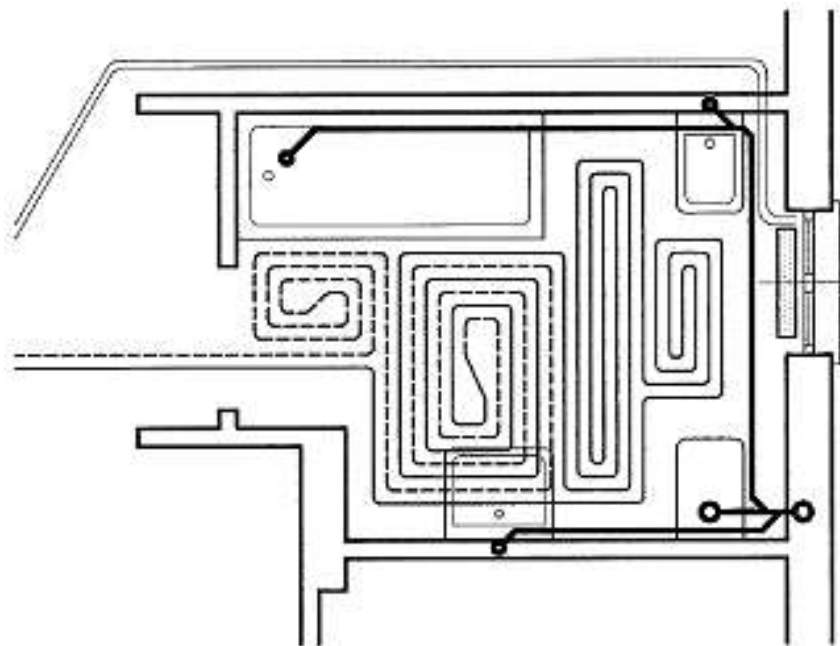


Figura 314: Esempio di applicazione in civili abitazioni dei pannelli radianti



Figura 315: Esempio di impianti radianti in appartamenti

Il massetto al di sopra delle tubazioni è di solito reso più fluido mediante speciali additivi. Si ottiene una massa più fluida che può riempire meglio gli spazi fra le tubazioni e formare una superficie più uniforme e compatta.

I pannelli radianti sono caratterizzati da una notevole inerzia termica e pertanto la loro regolazione risulta difficoltosa per via dei tempi di intervento necessari. Di solito la regolazione viene fatta cercando di anticipare gli effetti termici.



Figura 316: esempio di applicazione dei pannelli radianti in una chiesa



Figura 317: Esempio di utilizzo dei collettori complanari per pannelli radianti

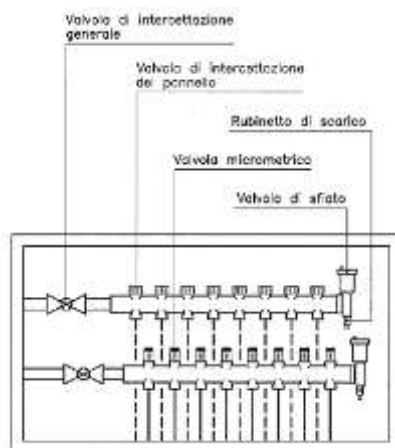


Figura 318: Collettore complanare per pavimento radiante

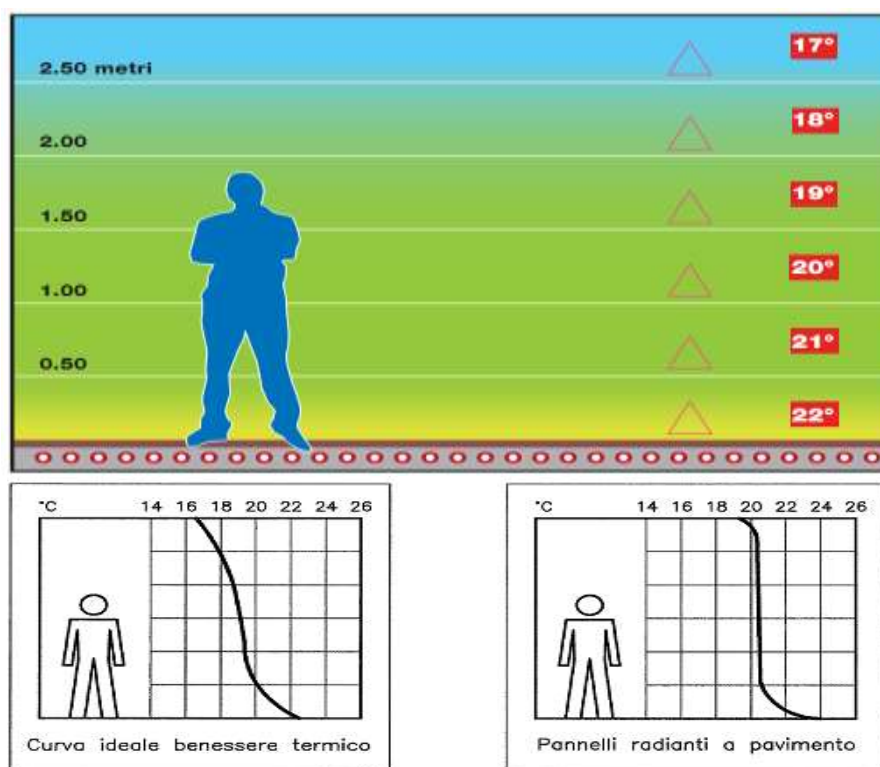


Figura 319: Distribuzione della temperatura con i pannelli radianti

In genere questi impianti non accettano variazioni notevoli delle temperature. A causa dell'inerzia termica si hanno tempi di avviamento e di spegnimento notevolmente lunghi (alcune ore) e pertanto gli impianti a pannelli radianti hanno funzionamento continuo con attenuazione

notturna e messa a regime con aumento della temperatura anticipata di un paio d'ore rispetto all'ora di utilizzo degli ambienti.

Fra i vantaggi dei sistemi a pannelli radianti si ha una buona distribuzione della temperatura che passa dai valori elevati dal pavimento (22-23 °C) ad una temperatura decrescente verso il soffitto con un gradiente di circa 0,5 °C/m.

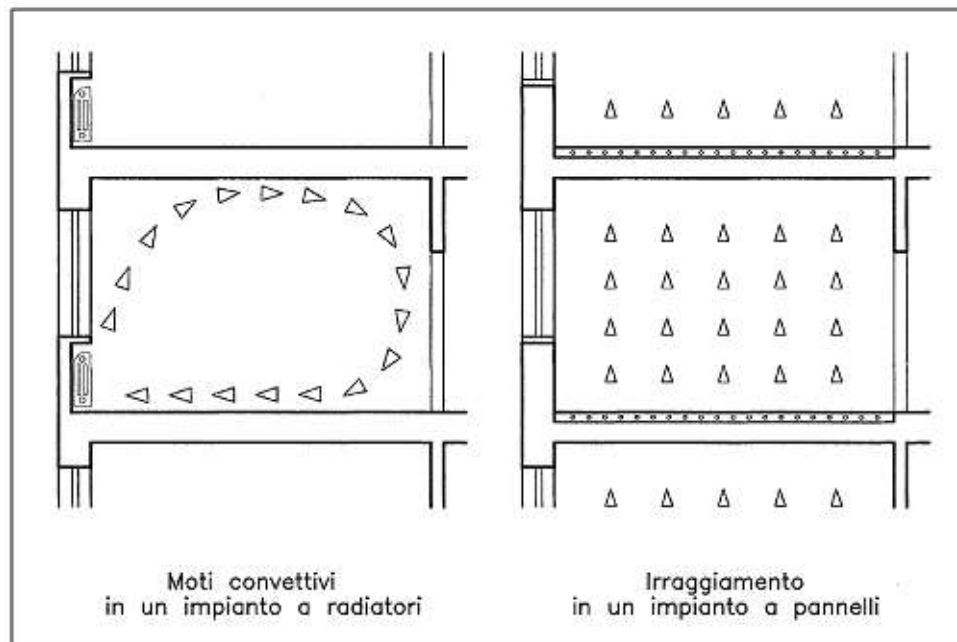


Figura 320: Confronto fra la distribuzione convettiva e quella dei pannelli radianti

Osservazione sui pannelli radianti

I pannelli radianti risultano quasi ideali nell'impiantistica civile perché rendono del tutto invisibili gli elementi scaldanti in quanto posti al di sotto del pavimento.

Tuttavia va ricordato che proprio per la tipologia costruttiva i pannelli radianti sono dotati di una massa termica correlata (pavimento radiante più caldana più pavimentazione) che rende molto lenta l'evoluzione termica degli stessi elementi.

In pratica i tempi di risposta alla regolazione termica sono notevolmente più elevati (dell'ora o di più ore) rispetto alla risposta dei radiatori o dei fan coil. Questo comporta una certa difficoltà di regolazione. Nelle zone climatiche A e B le variazioni climatiche giornaliere sono notevoli e pertanto la regolazione dei pavimenti radianti appare problematica e difficoltosa.

Meglio vanno le cose nelle zone climatiche fredde (dalla C in poi) nelle quali la necessità di regolazione giornaliera è ridotta e quindi non occorre agire sulla regolazione dei pavimenti radianti. Un esempio può chiarire quanto detto. Nell'ex Monastero dei Benedettini di Catania (ora sede della Facoltà di Lettere e Filosofia) si sono installati pavimenti radianti lungo i corridoi (lunghi più di 100 m ciascuno) con l'intenzione dei progettisti architettonici di mascherare l'impiantistica in un luogo monumentale del seicento. Al momento di avviare l'impianto ci è resi conto che i tempi di avviamento e di spegnimento erano dell'ordine di 5-6 ore e che qualunque regolazione termica era del tutto inefficace. A questo si aggiunga che le variazioni di temperatura interna nelle varie esposizioni, per effetto delle ampie vetrate, erano tali da produrre veri e proprie correnti d'aria intense che rendevano impossibili mantenere aperte qualsivoglia apertura.

Dopo qualche mese quell'impianto a pavimento è stato disattivato.

Progetto dei pannelli radianti

Si è visto in precedenza come i pannelli radianti non sono elementi prefabbricati da selezionare bensì da costruire sul posto con le tecniche prima indicate.

La progettazione può essere fatta di massima con le relazioni sopra indicate oppure mediante programmi di calcolo secondo la norma UNI EN 1264.

I parametri di calcolo sono quelli delle condizioni al contorno (temperatura ambiente e del locale sottostante, in °C) i parametri della configurazione del pannello (superficie coperta, m², ed interasse di posa fra i tubi, m), i parametri relativi al tipo di tubo (diametro interno ed esterno, m, conducibilità termica del tubo, W/(mK)), i parametri relativi alla struttura di contenimento dei pannelli radianti (resistenza del pavimento, m²/(mK), spessore del massetto sopra i tubi, m, conducibilità termica del massetto, W/(mK), resistenza termica sotto il pannello, m²K/m) ed infine i parametri relativi alla temperatura di entrata del fluido termovettore.

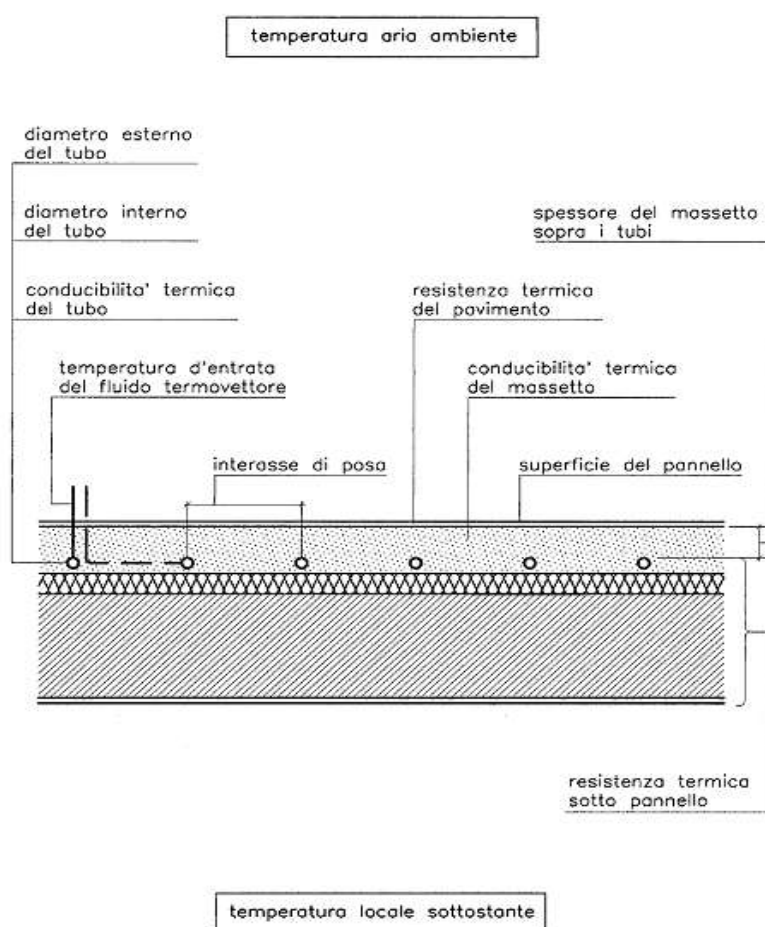


Figura 321: Parametri richiesti per il progetto dei pavimenti radianti

Il flusso di calore verso l'alto (flusso utile) si calcola mediante la relazione:

$$Q = S \cdot \Delta t \cdot B \cdot F_p \cdot F_l \cdot F_m \cdot F_n$$

ove vale il simbolismo:

- Q flusso termico utile del pannello, W;
- S superficie coperta del pannello, m²;
- Δt media logaritmica fra temperatura del fluido e ambiente, °C;
- B coefficiente relativo alla caratteristica del tubo, W/(m²K);
- F_p fattore relativo alla resistenza termica del pavimento;

- F_l *fattore relativo all'interasse fra i tubi;*
- F_m *fattore relativo allo spessore del massetto sopra i tubi;*
- F_n *fattore relativo al diametro esterno dei tubi.*

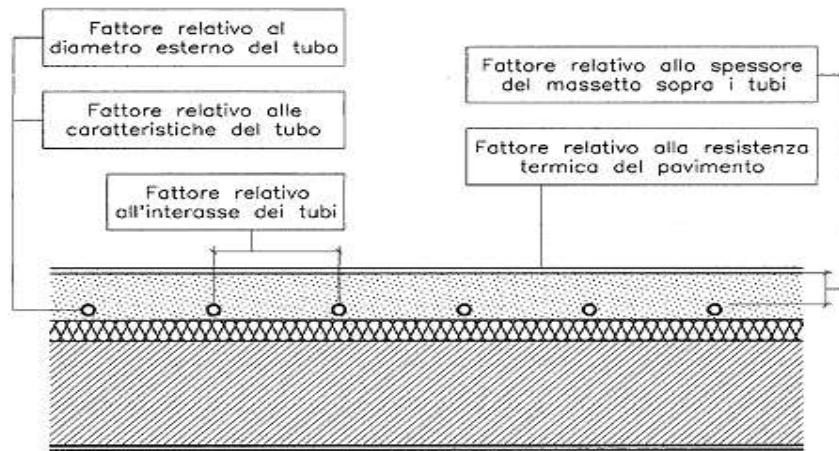


Figura 322: Fattori correttivi nel progetto dei pavimenti radianti

La media logaritmica Δt è data dalla relazione:

$$\Delta t = \frac{t_e - t_u}{\ln \frac{t_e - t_u}{t_u - t_a}}$$

con:

- t_e *temperatura di entrata del fluido scaldante, °C;*
- t_u *temperatura di uscita del fluido scaldante, °C;*
- t_a *temperatura ambiente, °C.*

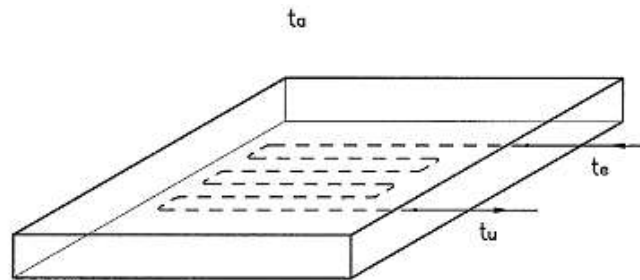


Figura 323: Indicazione delle temperature in gioco per la media logaritmica

Il parametro B si calcola con la relazione:

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1.1}{\pi} F_p F_l F_m F_D I \left(\frac{1}{2\lambda t} \ln \frac{D_e}{D_e - 2st} - \frac{1}{2\lambda t_0} \ln \frac{D_e}{D_e - 2st_0} \right)$$

ove vale il simbolismo:

- B_0, st_0, λ_0 *valori riferiti a $st_0=0,002$ m e $\lambda_{t0}=0,350$ W/(mK);*
- F_p *Fattore relativo alla resistenza del pavimento;*
- F_l *fattore relativo all'interasse fra i tubi;*
- F_m *fattore relativo allo spessore del massetto sopra i tubi;*
- F_D *fattore relativo al diametro esterno dei tubi;*
- I *interasse fra i tubi, m;*

- D_e diametro esterno dei tubi, m;
- λ_t conducibilità termica del tubo, W/(mK);

Per i fattori correttivi si hanno le tabelle seguenti.

Conducibilità massetto W/mK	Resistenza termica del pavimento, m²K/W			
	0,00	0,05	0,10	0,15
2,0	1,196	0,833	0,640	0,519
1,5	1,122	0,797	0,618	0,505
1,2	1,058	0,764	0,598	0,491
1,0	1,000	0,734	0,579	0,478
0,8	0,924	0,692	0,553	0,460
0,6	0,821	0,632	0,514	0,433

Figura 324: Fattore F_p

F_p può calcolarsi con la relazione:

$$F_p = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{m0}}{\lambda_{m0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{m0}}{\lambda_m} + R_p}$$

con:

- α 10,8 W/(m²K);
- s_{m0} 0,045 m;
- λ_m 1,0 W/(mK)
- λ_m conducibilità termica del massetto, W/(mK);
- R_p resistenza termica del pavimento, m²K/W.

Il fattore F_i si calcola con la relazione:

$$F_i = A_i^x$$

con A_i dato in tabella seguente ed x dalla relazione:

$$x = 1 - \frac{I}{0,075}$$

$R_p = 0,00$	$R_p = 0,05$	$R_p = 0,10$	$R_p = 0,15$
$A_i = 1,230$	$A_i = 1,188$	$A_i = 1,156$	$A_i = 1,134$

Figura 325: Fattore A_i

Il fattore F_m è dato dalla relazione:

$$F_m = A_m^y$$

Con a_m dato in tabella ed y dalla relazione:

$$y = 100(0,045 - s_m)$$

Interasse m	Resistenza termica del pavimento, m²K/W			
	0,00	0,05	0,10	0,15
0,050	1,0690	1,056	1,0430	1,0370
0,075	1,0660	1,053	1,0410	1,0350
0,100	1,0630	1,050	1,0390	1,0335
0,150	1,0570	1,046	1,0350	1,0305
0,200	1,0510	1,041	1,0315	1,0275
0,225	1,0480	1,038	1,0295	1,0260
0,300	1,0395	1,031	1,0240	1,0210
0,375	1,0300	1,024	1,0180	1,0160

Figura 326: Valori di A_m

Il fattore F_D è dato dalla relazione:

$$F_D = A_D^z$$

Con $z = 250(D_e - 0.020)$ e A_D in tabella seguente.

Interasse m	Resistenza termica del pavimento, m²K/W			
	0,00	0,05	0,10	0,15
0,050	1,013	1,013	1,012	1,011
0,075	1,021	1,019	1,016	1,014
0,100	1,029	1,025	1,022	1,018
0,150	1,040	1,034	1,029	1,024
0,200	1,046	1,040	1,035	1,030
0,225	1,049	1,043	1,038	1,033
0,300	1,053	1,049	1,044	1,039
0,375	1,056	1,051	1,046	1,042

Figura 327: Valori di A_D

Materiale	Conducibilità W/mK
Ceramica	1,00
Cotto	0,90
Gomma per pavimenti	0,28
Granito	3,20
Linoleum	0,18
Marmo	3,40
Moquette	0,09
Parquet	0,20
PVC per pavimenti	0,23

Figura 328: Conducibilità termica di alcuni pavimenti

Altri approfondimenti sono reperibili nei manuali specializzati ai quali si rimanda.

Alcuni Costruttori mettono a disposizione programmi specifici per il progetto dei pavimenti radianti che fanno uso, ovviamente, di componentistica di propria produzione. Questi programmi risultano molto comodi per i progetti esecutivi di cantiere.

11.9.3 RAFFRESCAMENTO CON PANNELLI RADIANTI

I pannelli radianti possono essere utilizzati anche per il raffrescamento ambientale. In questo caso si invia acqua refrigerata ad una temperatura di circa 14 °C di solito mediante un circuito misto (caldo e freddo) come indicato in Figura 329.

Nella Figura 330 e in Figura 331 si hanno le rese termiche per due diverse tipologie di pavimenti radianti, con parquet e con piastrelle.

Gli effetti del raffrescamento possono essere visti esaminando la Figura 332 nella quale appare evidente l'abbassamento della temperatura interna per effetto del raffrescamento esercitato dal pavimento radiante con acqua a 14 °C (valore consigliato per evitare i fenomeni di condensa superficiale).

Nella pratica avviene che l'acqua a bassa temperatura proveniente dal refrigeratore viene miscelata dalla valvola 3-vie comandata da una centralina di regolazione e inviata all'impianto secondo una temperatura programmata, 14 °C nel caso citato.

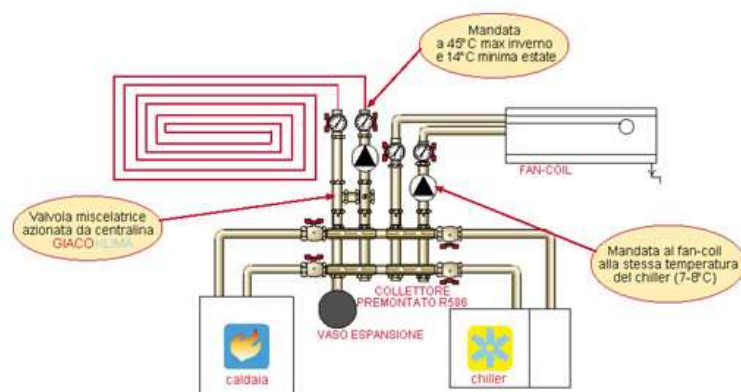


Figura 329: Schema misto per riscaldamento e raffrescamento a pannelli radianti

PARQUET: Assorbimento termico in funzione della temperatura ambiente e del passo tra i tubi in cm - Temperatura di mandata 14°C

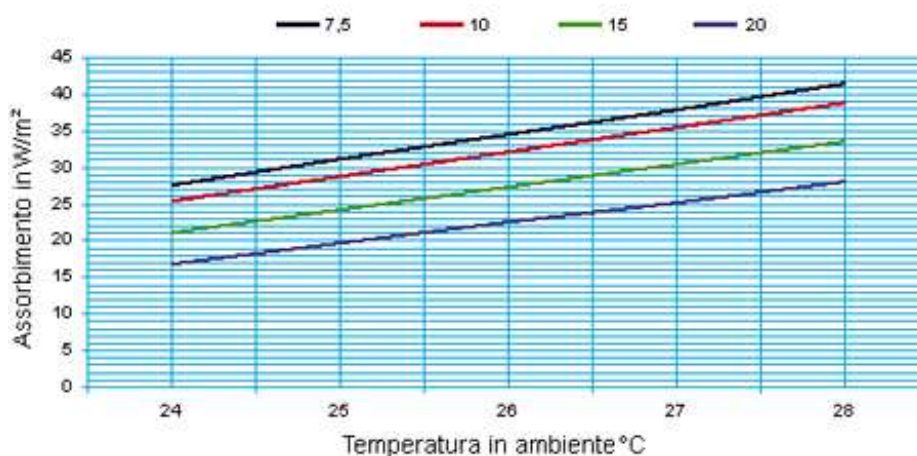


Figura 330: Resa termica di un pavimento radiante con parquet per raffrescamento

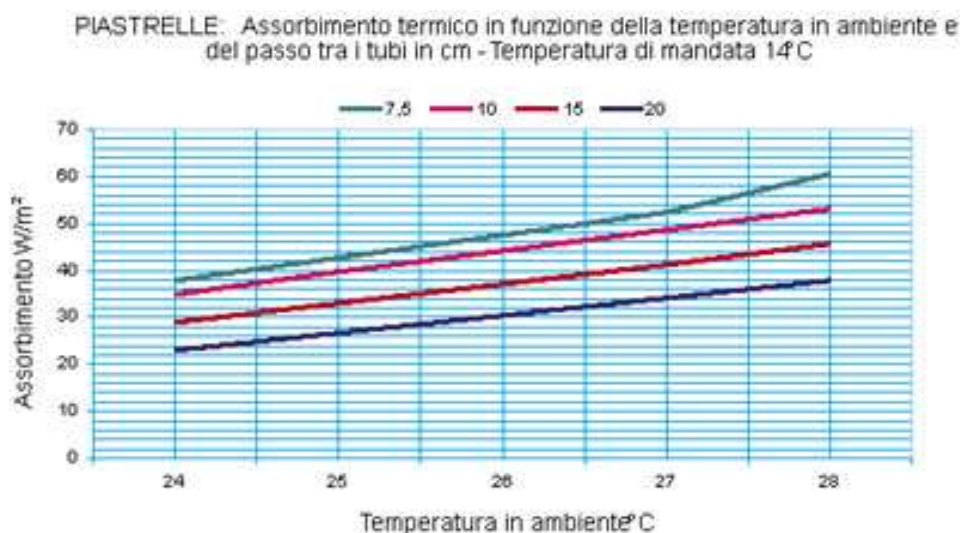


Figura 331: Resa termica di un pavimento con piastrelle radiante per raffrescamento

La temperatura dell'acqua di mandata al fan-coil, qualora presenti, è invece la stessa del refrigeratore. In questo caso si ottengono due effetti: ridurre la umidità sottraendo il calore latente ed incrementare l'apporto di freddo all'ambiente quando il carico termico è particolarmente elevato. Anche nel caso di raffrescamento estivo sono da tenere in debito conto i fenomeni di elevata inerzia termica del pavimento radiante e quindi la regolazione elettronica deve precedere adeguatamente l'azione voluta.

In Figura 333 si ha uno schema a blocchi delle funzioni di regolazione, estate e inverno, per un impianto a pannelli radianti. La temperatura di mandata non scende mai sotto i 14°C ed inizia a salire leggermente con pendenza programmabile a partire dalla temperatura esterna di 25°C.

La pendenza della curva (da 0,2 a 0,8) va scelta in funzione della temperatura interna che si desidera conseguire nel locale e della umidità relativa.

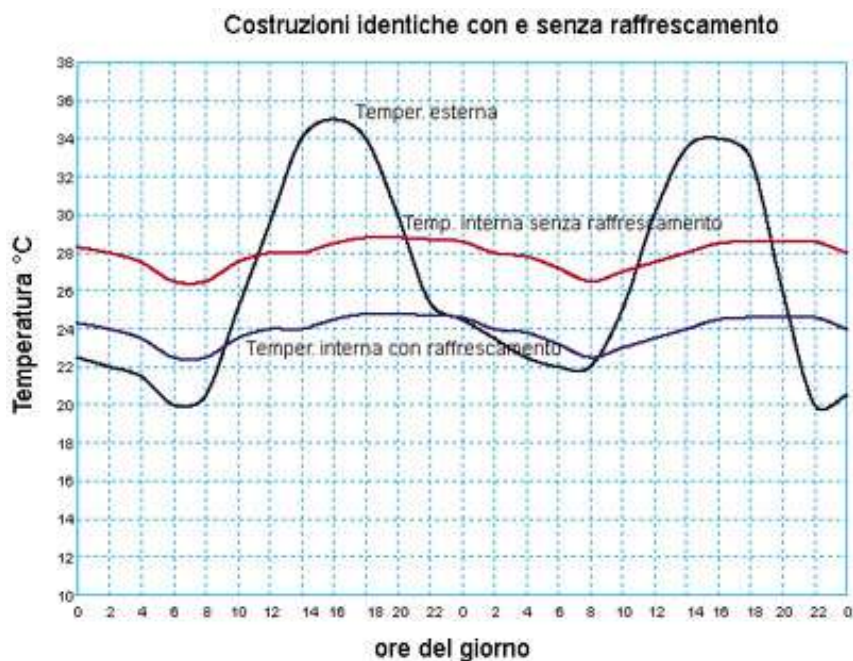


Figura 332: Andamento della temperatura interna con raffrescamento a pannelli radianti

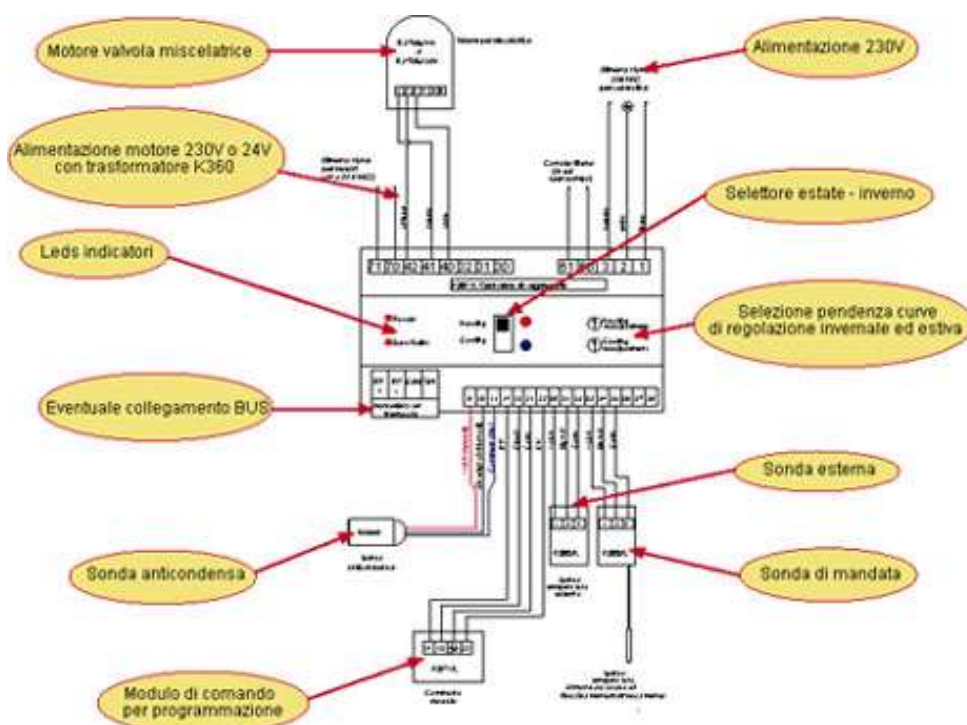


Figura 333: Schema della centralina di regolazione per pannelli radianti

Se ad esempio la zona in cui si opera è molto umida, una curva piuttosto piatta è controproducente, in quanto il divario tra la temperatura dell'aria di rinnovo nell'ambiente e quella superficiale è via via maggiore quanto maggiore è la temperatura esterna. È facilmente comprensibile allora come il rischio di condensa sia elevato. E quand'anche poi non si formasse condensa l'impianto opererebbe per la maggior parte del tempo nelle condizioni di sicurezza, sulla curva superiore, a cui l'efficienza della superficie fredda è minima.

In ogni caso una pendenza intorno a 0,3 è ideale per il pavimento; eventuali correzioni sono possibili agendo sul regolatore mediante cacciavite.

Le moderne centraline di regolazione per pavimenti radianti sono equipaggiate di sonda anticondensa, posizionata sulle superfici più fredde dell'impianto e quindi maggiormente a rischio di condensa superficiale.

Quando sulla superficie più fredda si raggiunge una umidità relativa superficiale di circa il 95% allora avviene lo slittamento automatico della curva di regolazione sul valore più elevato.

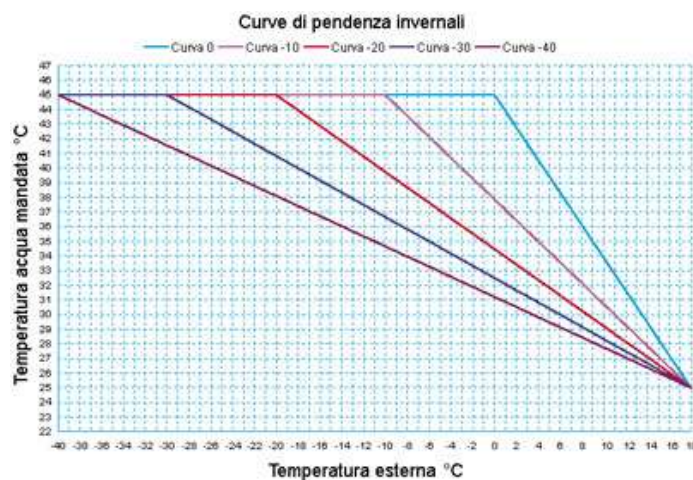


Figura 334: Curve di regolazione per pavimenti radianti

11.10 VALVOLA TERMOSTATICA

Una valvola termostatica è un'apparecchiatura costituita da una componente idraulica, la vera e propria valvola con otturatore a pistone, e da un elemento sensibile alla temperatura, detto "*testina termostatica*".

La testina termostatica è un regolatore di temperatura ambiente, ovvero una capsula contenente un fluido (liquido o gas) ad elevato coefficiente di dilatazione termica; man mano che la stanza raggiunge il valore di temperatura ambiente impostato sulla ghiera, il fluido all'interno della testina si espande e spinge il pistone della valvola, la quale chiude parzialmente il passaggio dell'acqua nel radiatore.

Grazie a questa regolazione, le valvole termostatiche offrono un grandissimo contributo ai fini del risparmio energetico. Infatti, in un appartamento sono presenti numerose fonti di calore gratuite che normalmente non vengono considerate, ma che nell'arco di una stagione di riscaldamento possono arrivare a coprire fino al 30% del fabbisogno di energia termica di un appartamento: tali fonti gratuite sono l'irraggiamento solare, gli elettrodomestici, i fornelli di cucina, e persino la presenza delle persone.

Ciò significa che, in assenza di un sistema di regolazione "sensibile" alla temperatura ambiente (come le valvole termostatiche), l'impianto di riscaldamento funziona a pieno regime anche quando non sarebbe necessario, e gli apporti gratuiti possono produrre un aumento "indesiderato" della temperatura nei locali che a volte ci spinge ad aprire le finestre in pieno inverno. Le valvole termostatiche, invece, una volta percepito che nella stanza è stata raggiunta la temperatura impostata, limitano il passaggio di acqua calda nel radiatore, cosicché gli apporti di calore gratuiti, invece di surriscaldare l'ambiente, contribuiscono a mantenere costante il giusto livello di temperatura.

Altra funzione delle valvole termostatiche riguarda quei condomini in cui alcuni utenti risultano sfavoriti a livello di comfort rispetto ad altri; sono le tipiche situazioni che vedono taluni appartamenti registrare temperature ambiente eccessive, mentre altri non raggiungono neppure la temperatura minima di comfort. Sono i cosiddetti casi di "squilibrio della distribuzione", e si verificano quando l'impianto è stato mal progettato o mal eseguito.

L'utilizzo delle valvole termostatiche nei condomini soggetti a questi problemi determina un riequilibrio automatico dell'impianto ed una conseguente corretta distribuzione del calore, che viene erogato in ogni appartamento nella misura strettamente necessaria, annullando tutte le disparità di comfort tra gli utenti.

11.10.1 VALVOLE TERMOSTATICHE E CONDENSAZIONE

Parlando delle caldaie a condensazione, abbiamo visto che non è sufficiente la semplice installazione per ottenere i risparmi energetici che tale tecnologia permette: è necessario mettere la caldaia in condizioni di "*condensare*". Abbiamo anche visto che la condizione per far condensare una caldaia è quella di portare "*acqua fredda*" nello scambiatore dove avviene il passaggio dei fumi. Per ottenere ciò è necessario ridurre la velocità dell'acqua nell'impianto in modo da dare all'acqua "più tempo" per cedere il calore all'ambiente e aumentare di conseguenza il salto termico tra la temperatura di mandata e quella di ritorno. Le valvole termostatiche assolvono benissimo questo compito.

Con le valvole termostatiche installate su ogni radiatore, una volta che l'impianto è "a regime", cioè quando tutti gli ambienti hanno raggiunto il comfort, i radiatori emettono calore in misura strettamente necessaria al mantenimento della temperatura ambiente: le valvole termostatiche, infatti, "parzializzano" il passaggio dell'acqua ai radiatori in funzione della quantità effettivamente richiesta.



Figura 335: Sezione di una valvola termostatica

In tali condizioni la velocità dell'acqua nei radiatori è molto bassa e lo scambio termico avviene in maniera più completa, cosicché l'acqua ritorna alla centrale termica ben raffreddata.

Con un'immagine potremmo dire che le valvole termostatiche spillano l'acqua dall'impianto goccia per goccia come fosse un elemento prezioso, ed è proprio questo spillamento che permette di ottenere "acqua fredda" preziosa per la condensazione dei fumi nello scambiatore della caldaia.

E' opportuno evidenziare l'importanza che assume la portata dell'acqua nell'impianto e come essa possa variare in continuazione in presenza di valvole termostatiche. In un impianto senza valvole termostatiche la velocità dell'acqua è sempre costante; per questo motivo è sufficiente una normale pompa a "giri fissi".

Laddove, invece, siano montate le valvole termostatiche, si rende necessaria anche l'installazione di una pompa a "giri variabili" che adegua quantità e velocità dell'acqua circolante nell'impianto in funzione della richiesta di calore dalle utenze.

11.10.2 VALVOLE TERMOSTATICHE E CONTABILIZZAZIONE INDIVIDUALE

La possibilità di regolare la temperatura in ogni ambiente, è una condizione indispensabile per poter gestire in maniera autonoma il riscaldamento di casa secondo le proprie esigenze di orari e di comfort, anche quando l'impianto è centralizzato.

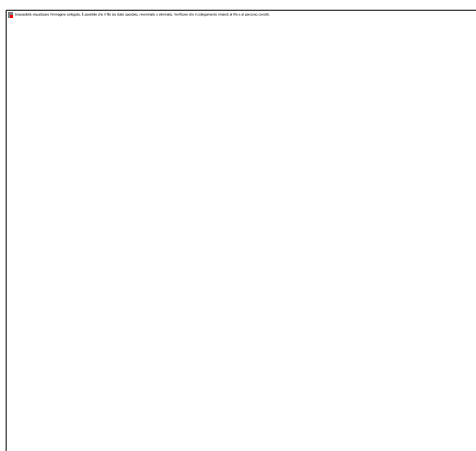


Figura 336: Valvola termostatica e ripartitore montati su un radiatore.

Di conseguenza, accoppiando la valvola termostatica ad un sistema che misuri l'energia emessa dal singolo radiatore (la cosiddetta "contabilizzazione"), si ottiene l'indipendenza anche

nella gestione delle spese di riscaldamento. La semplicità ed economicità di un sistema costituito da valvola termostatica e contabilizzatore del calore emesso dal singolo radiatore, permette quindi una ripartizione delle spese di riscaldamento non più millesimale, di tipo impositivo, con orari e temperature di erogazione non sempre condivise da tutti, ma basata sulle libere scelte di comfort di ciascun condomino e sull'effettivo consumo da parte dei singoli appartamenti.

11.10.3 SELEZIONE DELLE VALVOLE TERMOSTATICHE

La selezione delle valvole termostatiche viene fatta per tipologia (a squadra, diritta, per tubazioni in ferro o in rame) ed utilizzando i cataloghi commerciali dei vari costruttori.

11.11 APPERECCHIATURA DI SICUREZZA DI CENTRALE

Le centrali termiche possono essere potenziali ordigni di grande pericolosità. Un'esplosione di una caldaia butta giù un intero palazzo. I pericoli di esplosione derivano dal superamento della temperatura di saturazione alla pressione interna alle tubazioni in caldaia. Ciò comporta un'evaporazione rapida, immediata, che produce un'onda d'urto considerevole del tutto paragonabile ad un'esplosione. Si vedranno in questo paragrafo alcune apparecchiature di sicurezza che debbono sempre essere presenti in una centrale termica, secondo la normativa vigente e secondo le norme ISPSL (vedi Volume 3°).

11.11.1 VASO DI ESPANSIONE

Nelle reti ad acqua occorre tenere conto dell'espansione dell'acqua per effetto della differenza di temperatura fra circuito freddo e caldo. Di solito supponendo che l'acqua di rete abbia una temperatura di una decina di gradi *Celsius* e che la caldaia porti l'acqua a 90 °C si ha una differenza di temperatura di ben 80 °C che non può essere trascurata pena la sicurezza dello stesso impianto. Si ricordi, infatti, che l'acqua, come qualunque altro corpo del resto, si dilata secondo la legge:

$$V_f = V_i (1 + \alpha \Delta t) \quad [98]$$

Ne segue che la variazione di volume dovuta all'espansione (l'acqua si espande riscaldandola) è:

$$V_f - V_i = V_i \alpha \Delta t \quad [99]$$

Questo è il volume minimo di espansione che occorre garantire all'acqua. Il coefficiente di espansione α varia con la temperatura. A 90°C è $\alpha=0.0355 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (vedi Tabella 61) e quindi la precedente relazione consente di calcolare il volume di espansione. La tubazione di collegamento fra vaso di espansione e caldaia non deve avere diametro inferiore a 15 mm. Per vasi di espansione chiusi il diametro della tubazione di collegamento deve essere non inferiore a:

$$d = \sqrt{\frac{P}{1000}} \quad (mm) \quad [100]$$

con P in $kcal/h$ e con valore minimo di 18 mm. Di solito si hanno due tipi di vasi espansione, così sono chiamati i serbatoi dove si fa assorbire l'espansione dell'acqua: vasi di espansione aperti e vasi di espansione chiusi.

MASSA VOLUMICA E VOLUME SPECIFICO DELL'ACQUA FRA 0 E 100 °C								
Temperatura (°C)	Massa volumica (kg/dm3)	Volume specifico (dm3/kg)	Temperatura (°C)	Massa volumica (kg/dm3)	Volume specifico (dm3/kg)	Temperatura (°C)	Massa volumica (kg/dm3)	Volume specifico (dm3/kg)
0	0,99987	1,00013	48	0,98896	1,01116	75	0,97489	1,02576
4	0,99999	1,00001	49	0,98852	1,01161	76	0,97429	1,02639
6	0,99997	1,00003	50	0,98807	1,01207	77	0,97368	1,02703
8	0,99989	1,00011	51	0,98762	1,01254	78	0,97307	1,02768
10	0,99975	1,00025	52	0,98715	1,01302	79	0,97245	1,02833
12	0,99955	1,00045	53	0,98669	1,01349	80	0,97183	1,02899
14	0,99930	1,00070	54	0,98621	1,01398	81	0,97121	1,02964
16	0,99900	1,00100	55	0,98573	1,01448	82	0,97057	1,03032
18	0,99865	1,00135	56	0,98525	1,01497	83	0,96994	1,03099
20	0,99820	1,00180	57	0,98475	1,01549	84	0,96930	1,03167
22	0,99783	1,00217	58	0,98425	1,01600	85	0,96865	1,03236
24	0,99737	1,00264	59	0,98375	1,01652	86	0,96800	1,03306
26	0,99687	1,00314	60	0,98324	1,01705	87	0,96734	1,03376
28	0,99633	1,00368	61	0,98272	1,01758	88	0,96668	1,03447
30	0,99576	1,00426	62	0,98220	1,01812	89	0,96601	1,03519
32	0,99512	1,00490	63	0,98167	1,01867	90	0,96534	1,03590
34	0,99449	1,00554	64	0,98113	1,01923	91	0,96467	1,03662
36	0,99374	1,00630	65	0,98059	1,01979	92	0,96399	1,03736
38	0,99302	1,00703	66	0,98005	1,02036	93	0,96330	1,03810
40	0,99224	1,00782	67	0,97950	1,02093	94	0,96261	1,03884
41	0,99186	1,00821	68	0,97894	1,02151	95	0,96192	1,03959
42	0,99147	1,00860	69	0,97838	1,02210	96	0,96122	1,04034
43	0,99107	1,00901	70	0,97781	1,02269	97	0,96051	1,04111
44	0,99066	1,00943	71	0,97723	1,02330	98	0,95981	1,04187
45	0,99025	1,00985	72	0,97666	1,02390	99	0,95909	1,04266
46	0,98982	1,01028	73	0,97607	1,02452	100	0,95838	1,04343
47	0,98940	1,01071	74	0,97548	1,02514			

Tabella 60: Massa volumica per l'acqua a diverse temperature

Tabella coefficiente "e", al variare della temperatura, relativo alla temperatura di 4°C. ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$)

T (°C)	coeff. "e"	T (°C)	coeff. "e"	T (°C)	coeff. "e"
0	0,00013	40	0,00782	75	0,02575
10	0,00025	45	0,00984	80	0,02898
15	0,00085	50	0,01207	85	0,03236
20	0,00180	55	0,01447	90	0,03590
25	0,00289	60	0,01704	95	0,03958
30	0,00425	65	0,01979	100	0,04342
35	0,00582	70	0,02269		

Tabella 61: Coefficiente di dilatazione volumica per l'acqua

Ai fini del calcolo dei vasi di espansione si possono adottare i seguenti valori:

- Per impianti di riscaldamento con temperature variabili da 20 a 90 °C, $\alpha=0.035 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;
- Per impianti di raffrescamento con temperature variabili da 4 a 40 °, $\alpha=0.0078 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;
- Per impianti di accumulo sanitario con temperature da 10 a 60 °C, $\alpha=0.01953 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

Vasi di espansione aperti

Nel primo caso si tratta di un recipiente posto alla sommità della rete di distribuzione avente un volume di almeno tre volte ΔV sopra calcolato e a contatto con l'atmosfera. L'acqua dilatandosi fa innalzare il livello del liquido all'interno del vaso. Per un calcolo rapido si può utilizzare la relazione:

$$V_{\text{vaso espansione}} = 1.4 \cdot P_i \quad [101]$$

ove P_i è la potenzialità della caldaia in kW. Il diametro del tubo di sicurezza che collega il generatore termico al vaso di espansione si calcola con la relazione:

$$d_i = 15 + 1,5 \sqrt{\frac{P}{11.63}}$$

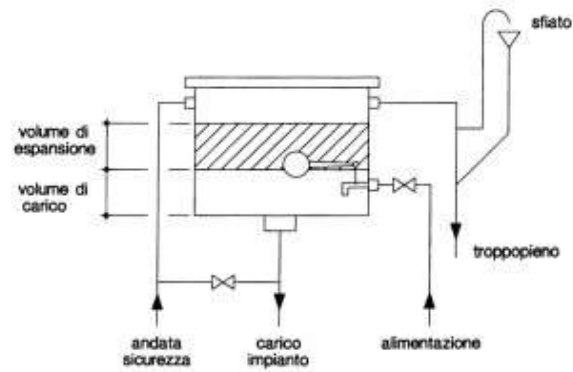


Figura 337: Vaso di espansione aperto

Espresso in mm e con P espressa in kW.

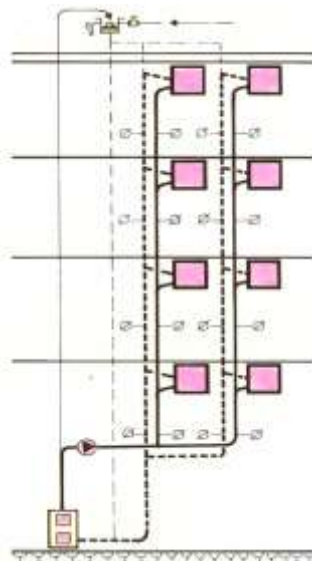


Figura 338: Esempio di installazione di un vaso di espansione aperto

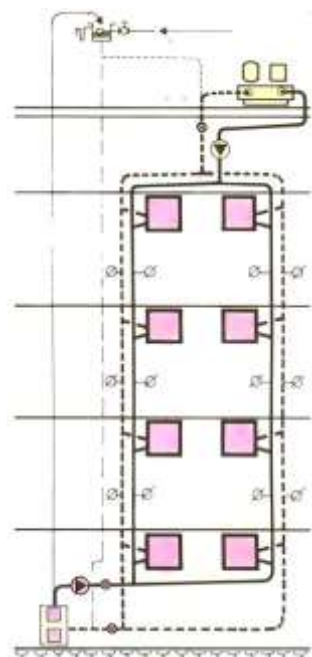


Figura 339: Vaso aperto in un impianto con caldaia e refrigeratore d'acqua

L'installazione dei vasi aperti deve essere fatta con cura onde evitare il pericolo della circolazione parassitaria o la fuoriuscita dell'acqua dal vaso.

Nel caso di più generatori di calore che alimentano uno stesso impianto è ammessa una tubazione di sicurezza dimensionata per la potenzialità nominale complessiva dei generatori; solo i tratti di collegamento di ogni singolo generatore al tubo di sicurezza comune possono essere dimensionati per la potenza singola. Ove si renda necessario separare i generatori dal vaso di espansione, si devono installare, sulle tubazioni di collegamento di ogni generatore alla tubazione di sicurezza, valvole a tre vie con sezione di passaggio non inferiore a quelle del tubo di sicurezza di pertinenza del generatore in modo da assicurare comunque il collegamento fra il generatore e l'atmosfera o mediante il tubo di sicurezza o attraverso il tubo di sfogo allacciato alla terza via.

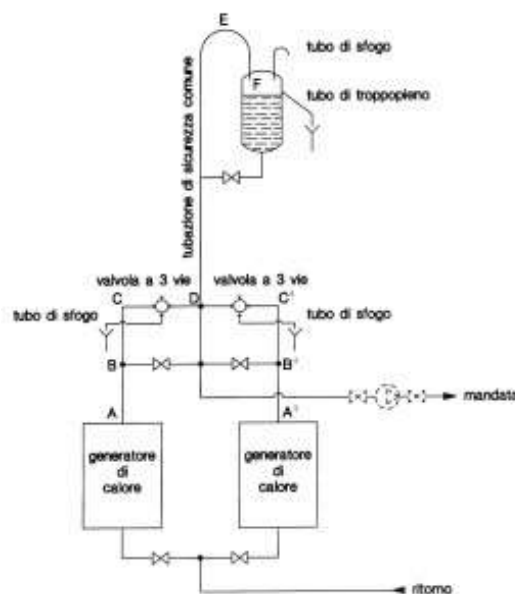


Figura 340: Vaso aperto asservito a due generatori di calore

Vasi di espansione chiusi

Per i vasi di espansione chiusi presentano alcuni vantaggi rispetto a quelli aperti che si possono così riassumere:

- riduzione delle corrosione nei materiali essendo il circuito sigillato e quindi non a contatto con l'aria;
- protezione della caldaia;
- possibilità di una più efficace regolazione automatica;
- eliminazione delle difficoltà di sistemazione del vaso aperto;
- eliminazione della rete di sfiato perché l'eliminazione dell'aria può essere effettuata con apposito dispositivo nel sistema di espansione;
- possibilità di utilizzare impianti ad acqua surriscaldata.
- Si hanno due possibili tipologie:
- **a membrana**: il gas interno al serbatoio, di solito azoto, viene separato dall'acqua da una membrana elastica, vedi Figura 341;
- **senza membrana**: il gas, di solito aria, è a contatto con l'acqua, vedi Figura 342.

Il volume del serbatoio chiuso pressurizzato con membrana è dato dalle seguenti relazioni⁶³:

⁶³ La relazione seguente si dimostra mediante normali passaggi di *Termodinamica*. Infatti è possibile scrivere l'eguaglianza (per la legge dei gas ideali):

$$V_{membrana} = \frac{\alpha M \Delta t}{1 - \frac{p_i}{p_f}} \quad [102]$$

ove con M si è indicata la massa iniziale di acqua nell'impianto. Si osservi che $M\Delta t$ è la capacità termica totale dell'impianto.

La pressione iniziale p_i , espressa in *m c.a.*, è pari all'altezza netta al di sopra del serbatoio più 0,3 metri per sicurezza. La pressione finale p_f è quella della valvola di sicurezza necessaria in questa tipologia di vasi di espansione.

Per i vasi pressurizzati senza membrana il volume del serbatoio è⁶⁴:

$$V_{senza membrana} = \frac{M \alpha \Delta t}{\frac{p_a}{p_i} - \frac{p_a}{p_f}} \quad [103]$$

ove p_a è la pressione atmosferica, p_i è la pressione iniziale data dalla colonna d'acqua al di sopra del vaso, p_f è la pressione finale data dalla pressione della valvola di sicurezza + 0,1 bar.

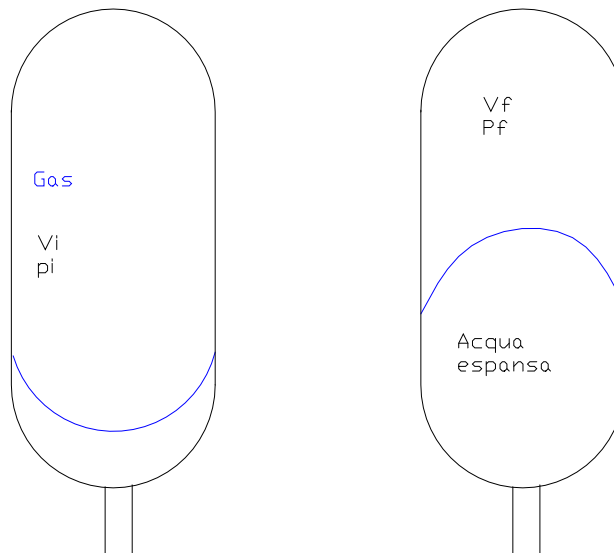


Figura 341: Vaso di espansione chiuso a membrana

dalla quale si trae:

$$p_i V = p_f V_f$$

$$V_f = V (p_i / p_f)$$

Poiché l'espansione dell'acqua è pari a:

$$M \alpha \Delta t = V - V_f$$

Sostituendo nella precedente relazione si ottiene la [102].

⁶⁴ Per la legge dei gas ideali si ha:

$$p_a V = p_i V_i = p_f V_f$$

essendo $M \alpha \Delta t = V - V_f$ ed ancora $V_i = p_a (V / p_i)$, $V_f = p_a (V / p_f)$ si ottiene:

$$M \alpha \Delta t = p_a V (1/p_i - 1/p_f)$$

e quindi la [103].

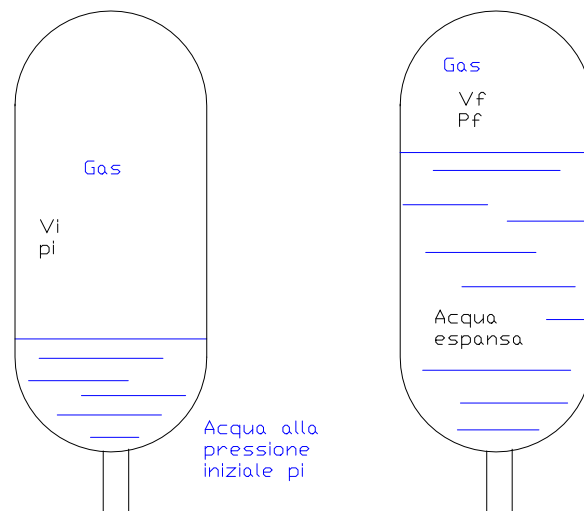


Figura 342: Vaso chiuso pressurizzato senza membrana

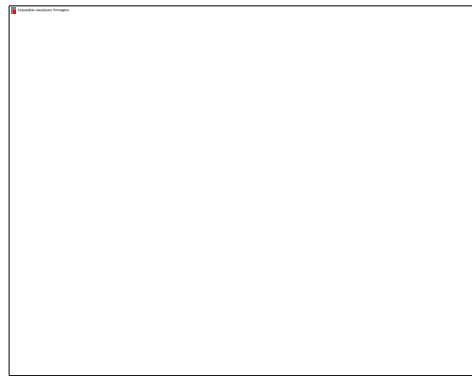


Figura 343: Esempio di vaso di espansione chiuso

L'installazione del vaso chiuso va fatta come indicato in Figura 344. In Figura 345 si ha l'indicazione della strumentazione di sicurezza con la didascalia della strumentazione seguente:

- 1 bruciatore
- 2 caldaia
- 3 valvola di sicurezza
- 4 valvola di intercettazione combustibile;
- 5 vaso di espansione a membrana;
- 6 interruttore termico automatico di regolazione;
- 7 interruttore automatico di blocco;
- 8 pressostato di blocco;
- 9 indicatore di pressione;
- 10 indicatore di temperatura;
- 11 pozzetto;
- 12 scarico accessibile e visibile;
- 13 pompa del circuito utilizzatore;
- 14 riduttore di pressione;
- 15 valvola di non ritorno;

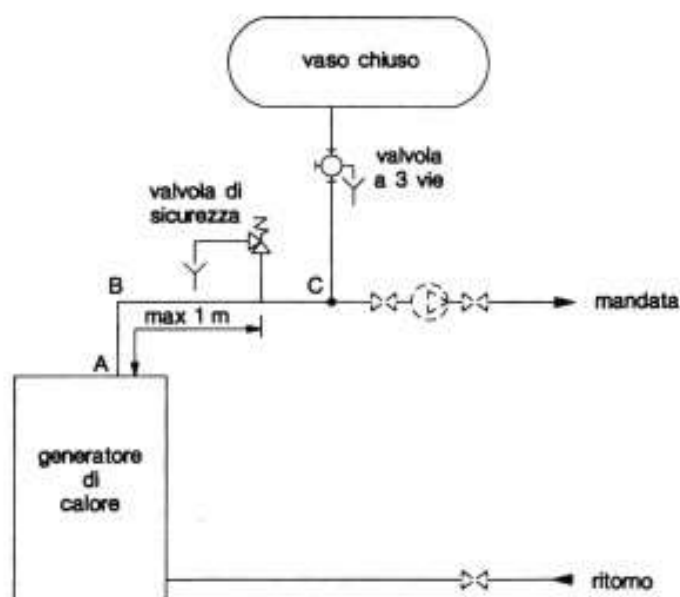


Figura 344: Installazione di un vaso chiuso

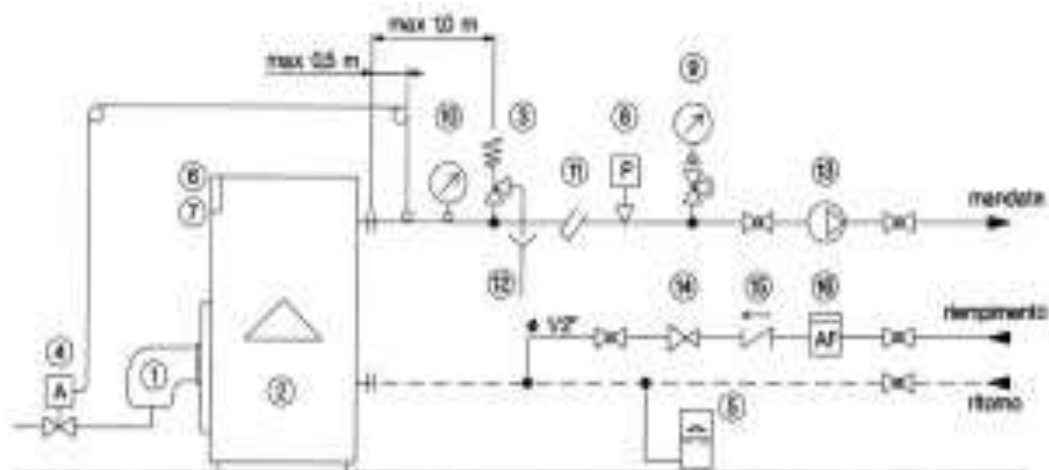


Figura 345: Strumentazione di sicurezza per il vaso chiuso

Selezione del Vaso di Espansione

La selezione del vaso di espansione richiede, scelta la tipologia se aperto o chiuso, l'applicazione delle relazioni di calcolo sopra viste. Pertanto occorre conoscere il volume di acqua dei circuiti d'acqua e, nota la temperatura di alimento, determinare il volume minimo del vaso di espansione.

Mediante i cataloghi commerciali si seleziona il vaso desiderato.

11.11.2 VALVOLA DI SICUREZZA

La pressione di esercizio di un generatore termico è data dalla pressione della colonna di liquido al di sopra di esso più eventuale sovrappressione della pompa di circolazione. Questa pressione generalmente si mantiene costante ed il funzionamento del generatore è allora normale.

Può avvenire, tuttavia, che per una ragione imprevista (restringimento della tubazione, ...) si crei una pressione maggiore di quella massima che il generatore può sopportare e allora si ha il pericolo di apertura dei vasi con pericolo di scoppio.

La valvola di sicurezza serve, pertanto, a mantenere la pressione nell'impianto al di sotto di un valore massimo prevista per il generatore. Essa ha, di solito, una molla tarata che garantisce l'apertura della valvola quando si supera il valore di taratura.

La pressione di sicurezza viene calcolata in funzione dell'altezza al di sopra della caldaia e dalla necessità di non superare i 95°C nel generatore d'acqua.

Le valvole di sicurezza sono obbligatorie negli impianti chiusi e debbono garantire, al raggiungimento della pressione limite, lo scarico di una portata di vapore:

$$G_v = \frac{P}{500} \quad (\text{kg} / \text{h}) \quad [104]$$

con P potenzialità della caldaia in kcal/h^{65} .



Figura 346: Esempio di valvola di sicurezza

La sezione di scarico può essere calcolata mediante la relazione approssimata:

$$A = \frac{P}{10^5} \cdot \frac{M}{0.9K} \quad (\text{cm}^2) \quad [105]$$

ove P è ancora la potenzialità della caldaia (in kcal/h) ed M un termine funzione della pressione di scarico e K la caratteristica della valvola data dal costruttore. In alcuni casi, per impianti di medie dimensioni, si hanno gruppi combinati che comprendono le valvole di sfiato aria, di sicurezza e di caricamento, come indicato in Figura 347. Nella Figura 353 si hanno esempi di schemi di montaggio della valvola di sicurezza e in Figura 354 si ha lo schema di installazione in un bollitore ad accumulo.



Figura 347: Gruppo polivalente di sicurezza, sfiato aria e caricamento

⁶⁵ Si ricordi che vale la relazione $1 \text{ kcal/h} = 1.163 \text{ W}$, ed ancora $1 \text{ W} = 0.860 \text{ Kcal/h}$.

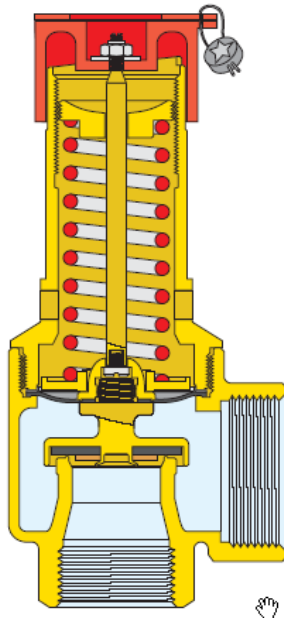


Figura 348: Sezione di una valvola di sicurezza



Figura 349: Valvola di sicurezza di tipo industriale

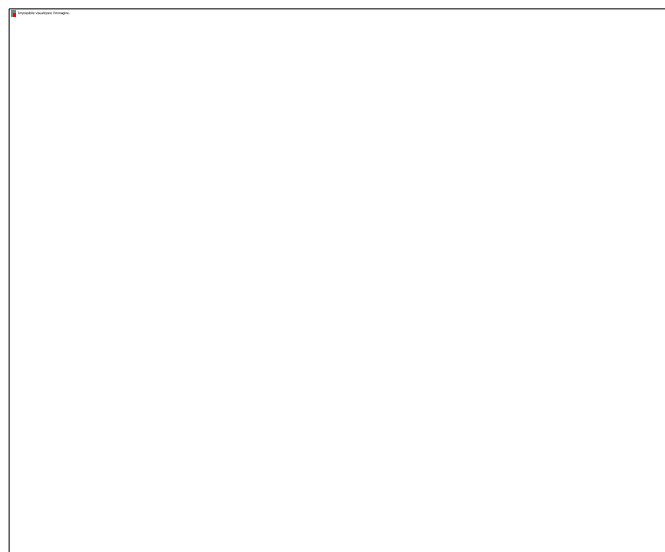


Figura 350: Diametri di attacco delle valvole di sicurezza

In Figura 351 si ha un esempio di corretta installazione del vaso di espansione chiuso, della valvola di sicurezza e del tronchetto flangiati per la misura della portata d'acqua calda dalla caldaia.



Figura 351: Foto esempio di installazione del vaso chiuso e della valvola di sicurezza

La valvola di sicurezza si apre quando si raggiunge la pressione massima alla quale è tarata la molla di contrapposizione. Quando ciò avviene si ha fuoriuscita di acqua dalla caldaia in modo da ridurre la pressione interna.

E' sempre opportuno curare lo scarico delle valvole di sicurezza (come pure quelle di scarico termico) facendo in modo che l'acqua fuoriuscita venga raccolta in una canalina sotto pavimento coperta da grigliato metallico.

Si badi bene che lo svuotamento dell'impianto può allagare il pavimento di una centrale termica con conseguente pericolo di corto circuito per le pompe di circolazione appoggiate a terra.

11.11.3 VALVOLA DI SCARICO TERMICO

E' una valvola che serve a garantire che non sia superata la temperatura massima nel generatore termico, solitamente fissata a 90 o 95 °C a seconda del tipo di generatore termico⁶⁶, vedi in sezione la Figura 355.

Essa fa aprire un orifizio tarato in modo da svuotare l'impianto in pochi minuti e va selezionata in funzione della potenzialità della caldaia. Il diametro dell'orifizio di sfogo deve essere non inferiore a:

$$d_0 = \sqrt{\frac{C}{5}} \quad (mm) \quad [106]$$

ove C è la capacità, in litri, della caldaia. Il diametro non può essere inferiore a 15 mm.

La portata che queste valvole debbono scaricare, in kg/h, nel caso si reintegro totale dell'impianto⁶⁷ è determinata dalla relazione:

⁶⁶ Per gli impianti che, all'entrata in vigore delle normative, non risulti a norma si deve installare una o più valvole di scarico termico. Questa può anche essere sostituita con la valvola di intercettazione del combustibile tarata alla stessa temperatura di 95 °C.

⁶⁷ Cioè quando l'alimentazione dell'impianto è aperta e può quindi continuare a reintegrare l'acqua scaricata dalla valvola.

$$G_s = \frac{P}{80} \quad (kg/h) \quad [107]$$

con P la potenzialità della caldaia in $kcal/h$.

Nel caso si reintegro parziale vale la relazione:

$$G_s = \frac{P}{25} \quad (kg/h) \quad [108]$$

Sono disponibili anche abachi di selezione rapida come quello riportato in Figura 356.

Il montaggio della valvola di scarico termico deve essere effettuato entro 50 cm dal corpo della caldaia, secondo le norme *ISPESL DM 1.12.1975 Raccolta "R"*, come indicato in Figura 357

In Figura 358 si hanno indicazioni utili sugli schemi di installazione della valvola di scarico termico e in Figura 359 si hanno due schemi elettrici di collegamento della valvola con i bruciatori. La valvola di scarico termico è a *riarmo manuale* e pertanto quando interviene non consente la ripartenza del bruciatore senza che la si riarmi manualmente.

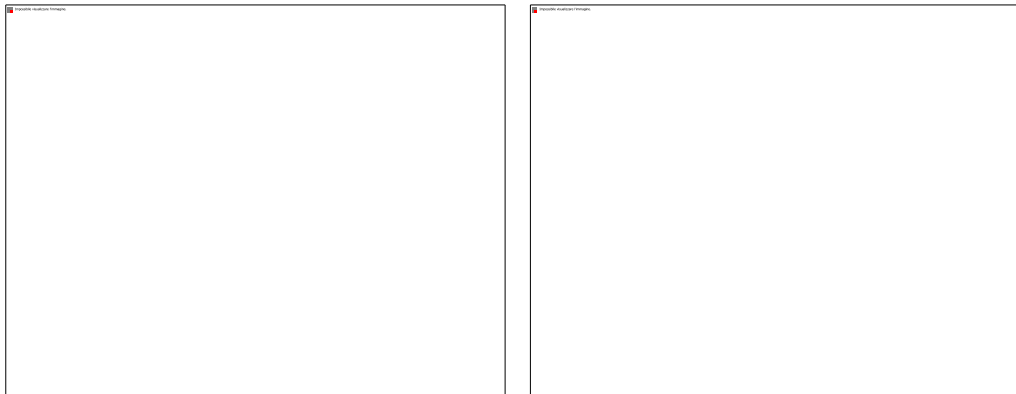
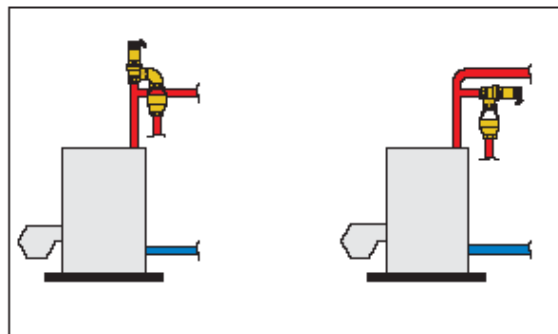


Figura 352: Valvola di scarico termico

Installazioni corrette



Installazione errata

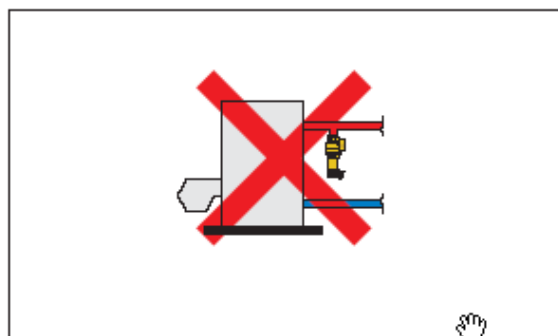


Figura 353: Montaggio di una valvola di sicurezza

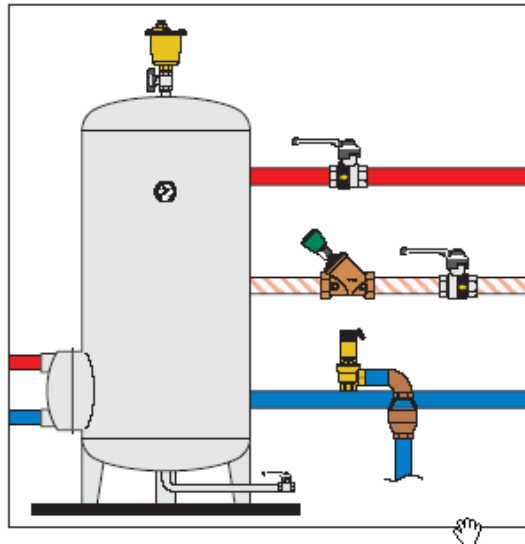


Figura 354: Installazione di una valvola di sicurezza in un bollitore d'acqua

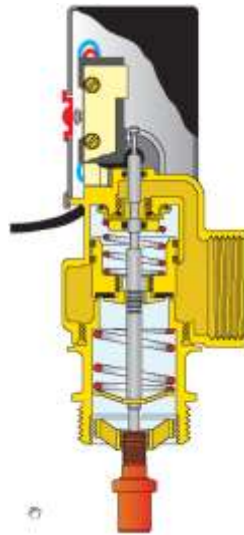


Figura 355: Sezione di una valvola di scarico termico

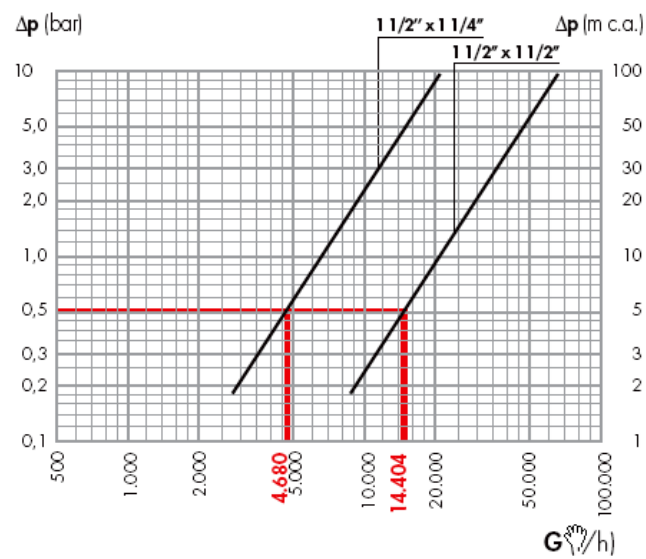


Figura 356: Abaco di selezione di una valvola di scarico termico

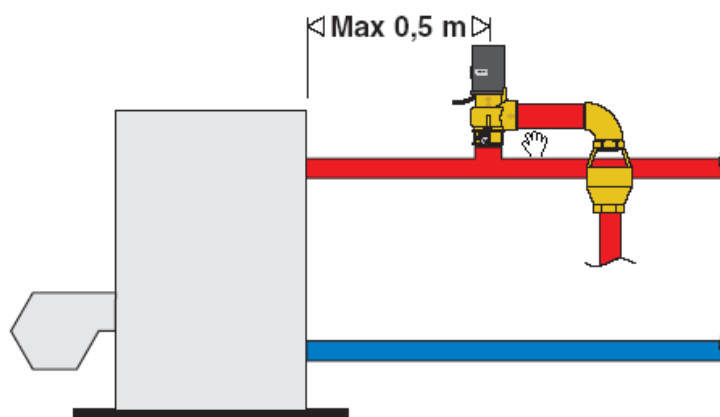


Figura 357: Indicazioni sull'installazione della valvola di scarico termico

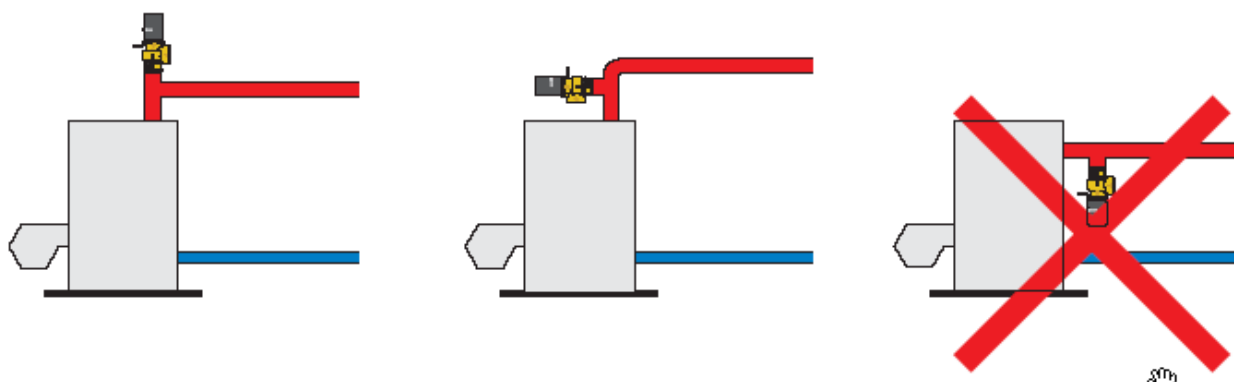


Figura 358: Schemi di installazione della valvola di scarico termico

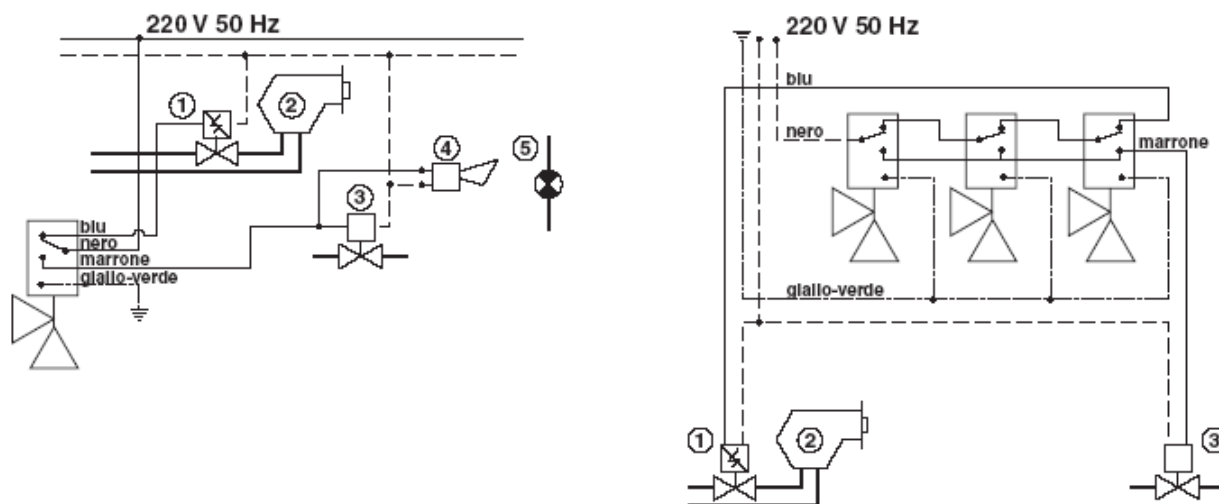


Figura 359: Schemi di collegamento elettrico della valvola di scarico termico

11.11.4 VALVOLE DI INTERCETTAZIONE DEL COMBUSTIBILE

La valvola di intercettazione del combustibile è un dispositivo di sicurezza ad azione positiva per l'interruzione del flusso di combustibile al bruciatore, vedi Figura 360. La valvola, installata sulla tubazione di adduzione del bruciatore, ha la funzione di intercettare l'afflusso di combustibile allorché la temperatura del fluido termovettore raggiunge il valore limite di 98 °C.

Essendo un dispositivo ad azione positiva in caso di avaria dell'elemento sensibile, la chiusura della valvola di alimentazione avviene automaticamente.

Questa valvola è utilizzabile con differenti tipi di combustibili ed è disponibile anche in versione per acqua surriscaldata.

L'elemento sensibile a tensione di vapore, al raggiungimento della temperatura di taratura, con il cambiamento di stato, provoca lo sgancio dell'otturatore attraverso il tubo capillare ed il soffietto elastico. Il ripristino delle funzioni d'intervento avviene agendo sul pulsante collocato nella parte inferiore della valvola e protetto da un coperchio in materiale plastico.



Figura 360: Valvole di intercettazione combustibile filettata e flangiata

Qualora il dispositivo di intercettazione sia intervenuto, per effettuare il ripristino delle condizioni di intervento, è necessario operare come segue:

- a) Attendere che la temperatura dell'acqua scenda di 10°C al di sotto della temperatura d'intervento (in caso contrario non è possibile riarmare il dispositivo).
- b) Svitare il cappuccio di protezione.
- c) Premere il pulsante di riarmo.

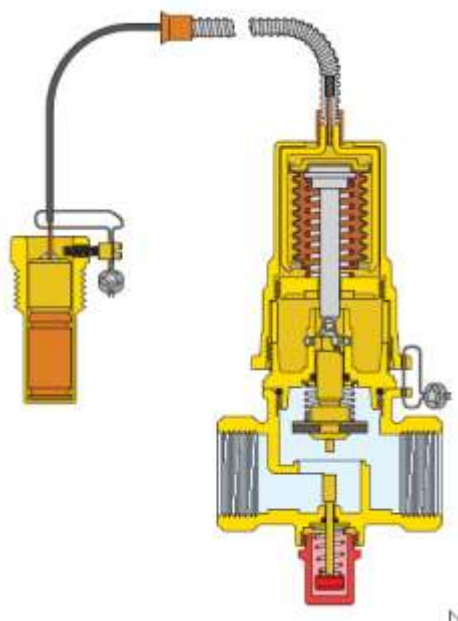


Figura 361: Sezione di una valvola di intercettazione del combustibile

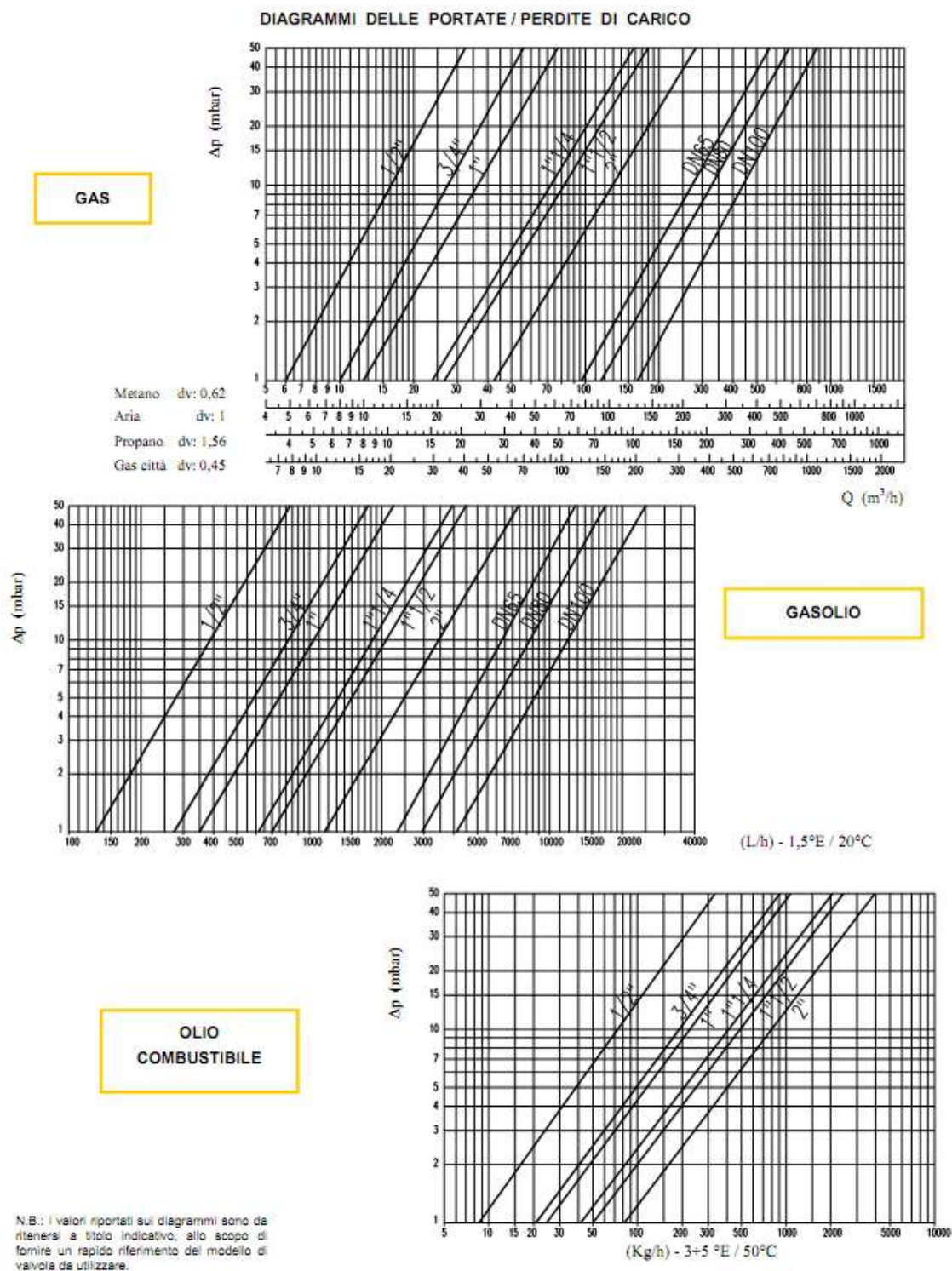


Figura 362: abachi di selezione della valvole di intercettazione combustibile

Selezione delle valvole di intercettazione combustibile

La selezione di queste valvole è effettuata mediante appositi abachi in funzione del tipo di combustibile e della portata al bruciatore, vedi Figura 362. Il sensore della valvola di intercettazione deve essere installato alla sommità del generatore, o sulla tubazione di andata entro **0,5 m** dal generatore, a monte di qualsiasi organo di intercettazione. La valvola va installata sulla tubazione di mandata del combustibile, anche in posizione verticale, rispettando il senso di flusso indicato dalla freccia, vedi Figura 363 e Figura 365.

Nell'installazione del dispositivo si devono adottare le opportune precauzioni affinché il capillare che collega il sensore alla valvola non venga schiacciato o curvato eccessivamente.

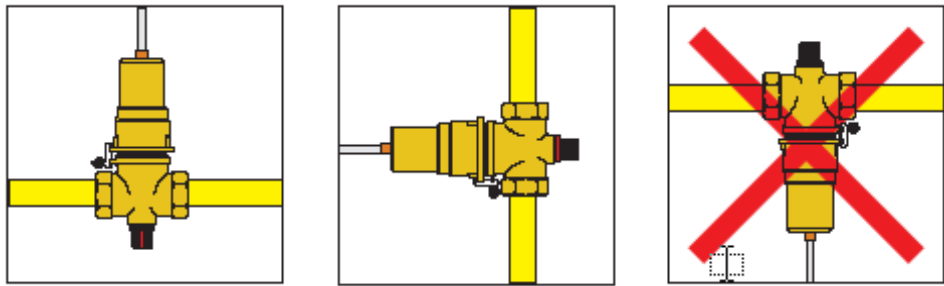


Figura 363: Installazione di una valvola di intercettazione del combustibile

Al fine di evitare manomissioni, od accidentali fuoriuscite del sensore, quest'ultimo deve essere piombato nel pozzetto.

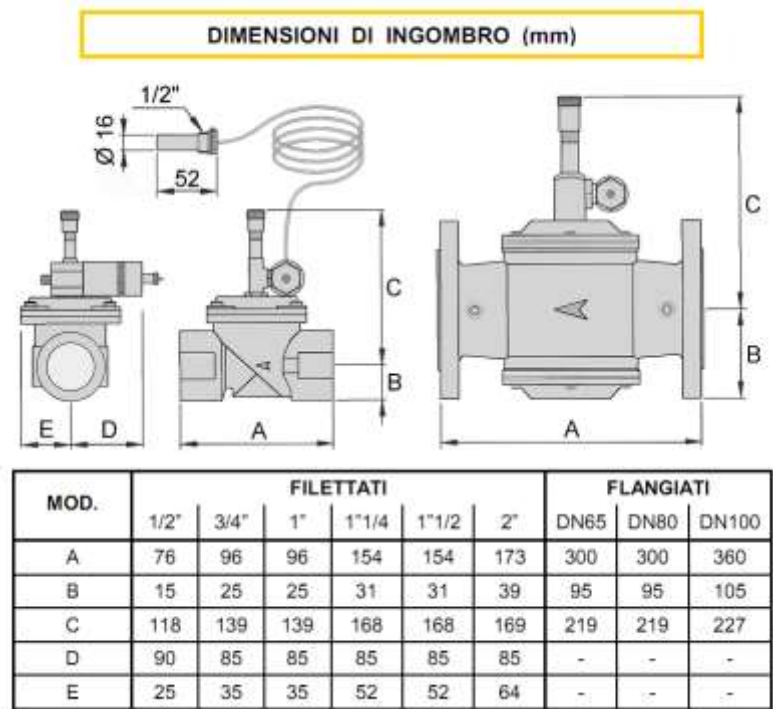


Figura 364: Catalogo tecnico per valvola di intercettazione del combustibile

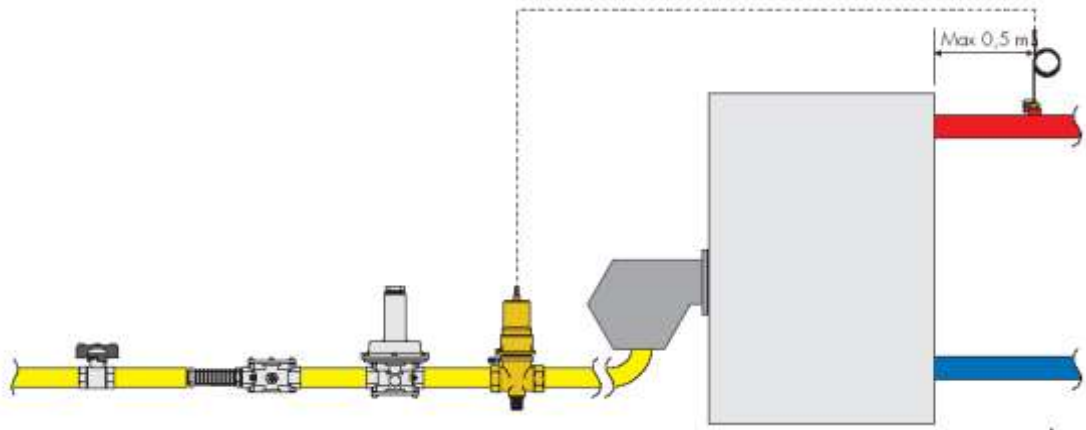


Figura 365: Corretta installazione della valvola di intercettazione

11.11.5 SISTEMI SPLIT

Negli ultimi anni si sono diffusi condizionatori reversibili (quindi che funzionano anche da *pompe di calore*) del tipo *split*. In Figura 366 si ha uno spaccato funzionale di un moderno sistema split nel quale sono visibili l'unità esterna (che in funzionamento estivo funge da unità moto-condensante) e l'unità interna (che in estate funge da evaporatore del fluido refrigerante che circola direttamente in essa).

Con riferimento alla Figura 367 si può osservare che si tratta di impianti compatti, solitamente per uno fino a quattro ambienti, costituiti da un'unità *moto-condensante* (in estate) esterna ed da un'unità *evaporativa* (sempre in estate) interna.

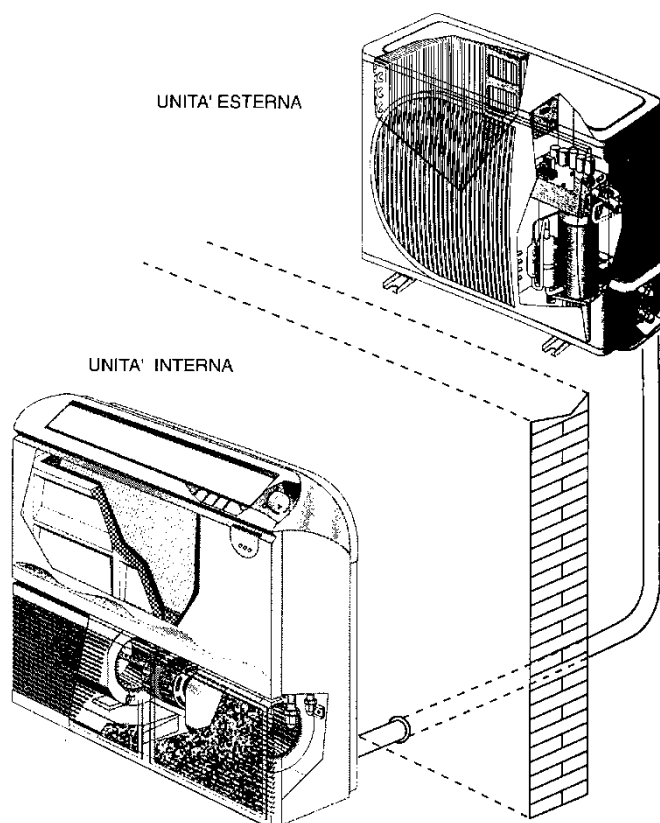


Figura 366: Spaccato di un moderno sistema split

Nella Figura 274 si ha un esempio di installazione di questi impianti: sono ben visibili all'esterno (qui indicato sul terrazzo) l'unità *moto-condensante* (cioè contenente il compressore frigorifero e il condensatore) e all'interno due unità *evaporatrici* (cioè contenente ciascuna un *evaporatore*). Il fluido termovettore è contemporaneamente *frigorifero*, cioè è lo stesso *Freon* che circola nell'unità interna.

Questa soluzione consente di avere migliori rendimenti di scambio termico in quanto le batterie interne alle unità sono *ad espansione diretta*: in esse il *Freon* si espande a bassa pressione (vedi ciclo di Figura 248) assorbendo calore dall'ambiente e quindi raffrescandolo.

Se il sistema è reversibile allora in inverno le funzioni delle batterie si scambiano: nell'unità esterna si ha il *compressore* e l'*evaporatore* mentre all'interno si ha il *condensatore* che cede calore, sempre per espansione diretta, all'ambiente, riscaldandolo.

Questo genere di impianti non accettano lunghi percorsi per le tubazioni poiché all'interno il fluido deve essere soggetto alle pressioni delle fasi termodinamiche indicate nel ciclo di Figura 248. Di solito si possono avere lunghezze di 10÷15 m con tubazioni precaricate di fluido frigorifero.

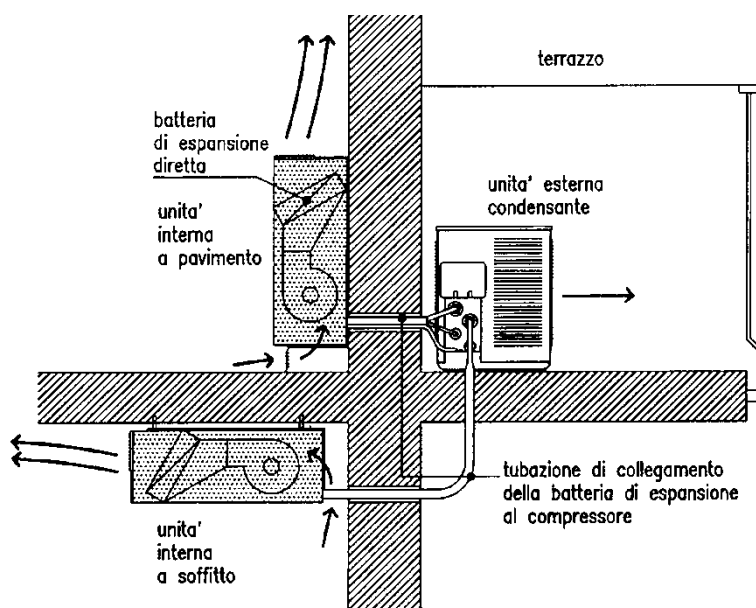


Figura 367: Impianto di climatizzazione tipo Split

Per maggiori lunghezze occorre aggiungere una pompa di circolazione che ripristina la pressione di esercizio all'evaporatore e al condensatore.

In Figura 368 si ha un esempio di sistema split nel quale l'unità interna è canalizzata, cioè l'uscita non è immediata nell'ambiente in cui essa si trova ma l'aria viene opportunamente canalizzata con una semplice rete di distribuzione dell'aria condizionata. In questo modo si può avere un sistema split che può servire un appartamento o una piccola zona. Per impianti maggiormente estesi si debbono avere impianti di condizionamento tradizionali.

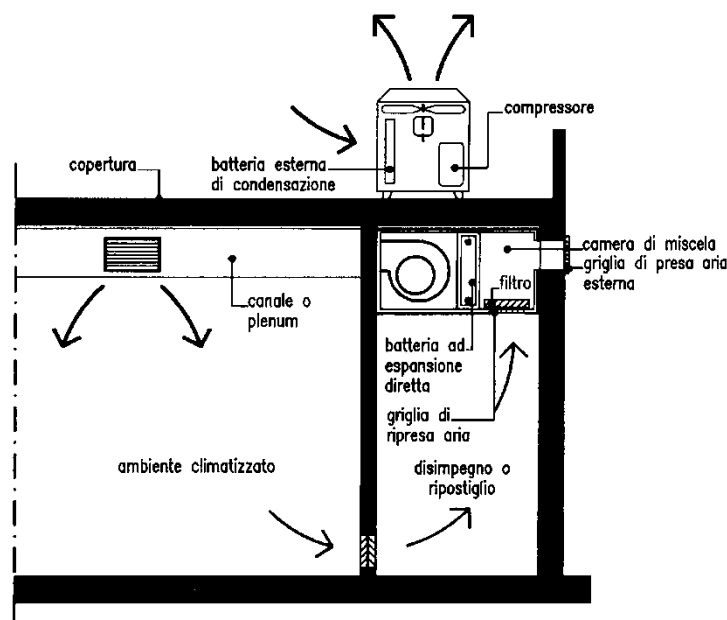


Figura 368: Sistema split con canalizzazione interna

I sistemi split si sono evoluti in modo tale che è oggi possibile utilizzarli in modo quasi esclusivo per qualunque esigenza di climatizzazione anche in edifici complessi, come si può osservare in Figura 369 dove i sistemi distributivi all'interno sono molteplici in funzione del tipo di unità interne (a soffitto, a parete, canalizzata, ...).

Va osservato che recentemente si sono prodotti unità split con fluido termovettore ad acqua. In pratica si ha all'interno del gruppo frigorifero una batteria di scambio fra fluido frigorifero ed acqua che viene inviata agli ambienti per la climatizzazione. Questi sistemi sono, in pratica, dei veri e propri piccoli impianti di condizionamento nei quali si ha una maggiore ingegnerizzazione delle unità di refrigerazione con una migliore disposizione topologica.

Si osservi che i sistemi split non controllano bene l'umidità ambiente ma solo il carico sensibile. Se si ha necessità di controllare anche il carico latente si deve ricorrere agli impianti tradizionali ad aria.



Figura 369: Schema di installazione di sistemi split in un edificio

Selezione delle unità split

La selezione va sempre effettuata utilizzando i cataloghi tecnici ove è possibile avere tabelle di sintesi dalle quali scegliere l'unità desiderata in base alla potenza termica (inverno) e frigorifera (estate) desiderata. Il Costruttore fornirà tutti dati dimensionali e funzionali necessari all'installazione e al progetto delle reti di alimentazione sia idrica che elettrica.

Unità interna Unità esterna		GW1090E GW1090C	GW1120E GW1120C	GW1180E GW1180C	GW1240E GW1240C
Potenza frigorifera	W (nominale)	2500	3500	5000	6500
	W (min - max)	900/3000	1220/4000	2500/5800	2000/6800
Classe di efficienza energetica		A	A	A	A
EER		3,21	3,21	3,21	3,22
Potenza assorbita totale	W (nominale)	780	1090	1560	2020
	W (min - max)	220/1350	295/1500	620/2200	520/2450
Assorbimento totale	A (max)	6,2	7,0	10,5	14
Umidità asportata	l/h	1,2	1,6	2	2,4
Potenza termica	W (nominale)	2750	4000	5800	6500
	W (min - max)	1000/3200	1130/4300	2300/6400	1600/8200
Classe di efficienza energetica		A	A	A	A
COP		3,62	3,61	3,63	3,61
Potenza assorbita totale	W (nominale)	760	1108	1600	1800
	W (min - max)	210/1400	330/1420	550/2250	470/3250
Assorbimento totale	A (max)	6,3	7,2	10,7	14,2
Portata aria (GWI E)	m³/h (max)	490	550	900	850
♪ Pressione sonora (GWI E)	dB(A) (min)	32	36	40	40
	dB(A) (med)	35	39	43	43
	dB(A) (max)	39	42	48	48
♪ Pressione sonora (GWI C)	dB(A)	53	55	56	58
Compressore		Rotativo Inverter			
Lunghezza max linee	m	10	10	30	30
Dislivello max (Unità interna - esterna)	m	5	5	8	8
Attacchi frigoriferi	Ø liquido	1/4"	1/4"	1/4"	3/8"
	Ø gas	3/8"	1/2"	1/2"	5/8"
Linee frigorifere	Ø liquido	6,35 (1/4")	6,35 (1/4")	6,35 (1/4")	9,52 (3/8")
	Ø gas	9,52 (3/8")	12,7 (1/2")	12,7 (1/2")	15,9 (5/8")

Figura 370: Data Sheet per la selezione di unità split

11.12 DILATATORI TERMICI

Quando le tubazioni sono percorse dal fluido caldo queste si allungano per effetto della dilatazione termica, per tanto bisogna tenerne conto.

Notare, che la dilatazione è indipendente dal diametro e dallo spessore delle pareti dei tubi, è invece dipendente dal tipo di materiale di cui sono costituite.

Il calcolo della dilatazione termica di qualsiasi tubazione si esegue con estrema facilità tramite l'applicazione della formula seguente:

$$D_l = k_d \Delta t L_g$$

ove :

- D_l è la dilatazione, in mm, per metro lineare di tubazione;
- k_d coefficiente di dilatazione termica della tubazione (0,012 per l'acciaio);
- Δt escursione termica, °C;
- L_g lunghezza del tratto di tubazione in metri.

Per i vari materiali si hanno i coefficienti indicati nella seguente tabella.

SALTO TERMICO Δt °C	DILATAZIONI TERMICHE «mm» PER METRO LINEARE DI TUBO	
	TUBI DI ACCIAIO	TUBI DI RAME
45 °C	----- 0,54 -----	----- 0,74 -----
50 °C	----- 0,60 -----	----- 0,83 -----
55 °C	----- 0,66 -----	----- 0,91 -----
60 °C	----- 0,72 -----	----- 1,00 -----
65 °C	----- 0,78 -----	----- 1,08 -----
70 °C	----- 0,84 -----	----- 1,16 -----
75 °C	----- 0,90 -----	----- 1,24 -----
80 °C	----- 0,96 -----	----- 1,33 -----
85 °C	----- 1,02 -----	----- 1,41 -----
90 °C	----- 1,08 -----	----- 1,50 -----
95 °C	----- 1,14 -----	----- 1,58 -----
100 °C	----- 1,20 -----	----- 1,66 -----

Tabella 62: Coefficienti di dilatazione al variare della temperatura

11.13 TIPI DI TERMINALI PER LA CESSIONE DELL'ENERGIA

I terminali di cessione dell'energia sono la sezione finale di tutto l'impianto ma non per questo meno importanti. Essi, in genere assommano tutta l'ignoranza progettuale e quindi tutti gli errori eventualmente commessi. La loro funzione è quella di cedere energia (con segno algebrico, positiva in inverno e negativa in estate) al *sistema-edificio* nella quantità necessaria a mantenerlo nelle condizioni di progetto (solitamente 20 °C in inverno e 26 °C in estate) e in modo da rendere confortevole ed uniforme la temperatura ambiente. In fase di progetto occorre rispondere, quindi, alle due domande: *quanta energia fornire all'ambiente e come distribuirla*.

Per cedere l'energia giusta per il mantenimento dell'ambiente alle condizioni desiderate occorre averne prodotto e trasportato la quantità necessaria: il terminale non può far miracoli accrescendo la quantità di energia da cedere e quindi inserire elementi sovradimensionati non serve a nulla. Anzi è sempre bene dimensionare i terminali correttamente per la potenza nominale di progetto (o leggermente superiore, non più del 10%, per sopperire alle perdite di efficienza per invecchiamento) per ottimizzare la resa termica.

Spesso i terminali, anche per effetto della legislazione vigente (L. 10/91), sono provvisti di regolazione termica e quindi la loro posizione in pianta e il loro funzionamento risultano di grande importanza. Le tipologie di terminale più ricorrenti per l'aria sono: *termoconvettori*, *termoventilconvettori*, *unità di trattamento aria*, *bocchette o diffusori*. Se ne descrivono qui le caratteristiche fondamentali e rimandando al prossimo capitolo l'approfondimento della diffusione dell'aria.

11.13.1 TERMOCONVETTORI

L'uso dei *termoconvettori* si è sviluppato con l'esigenza di avere terminali con elevata superficie di scambio che consentissero di utilizzare acqua calda a temperatura moderata (40÷50 °C) quale si ha negli impianti a pompa di calore, ad energia solare o cogenerativi. Il *termoconvettore*, infatti, ha una elevata efficienza di scambio in quanto ha una batteria in rame alettata in alluminio (materiali ottimi conduttori) alimentata dall'acqua calda che funge da fluido primario e attraverso la quale si fa passare l'aria dell'ambiente da riscaldare mediante una piccola ventola di circolazione.

Si ha, pertanto, una convezione forzata fra alette di alluminio e aria da riscaldare e questo fa aumentare la trasmittanza K e quindi occorre una minore superficie di scambio a parità delle altre condizioni oppure, essendo il ΔT_{ml} inferiore rispetto a quello dei radiatori, una maggiore quantità di energia ceduta a parità di ingombro.

Le problematiche di installazione sono simili a quelle dei radiatori per la posizione e l'alimentazione. La diffusione del calore è migliore per via della circolazione forzata indotta dalla ventola interna. Le potenze in gioco sono modeste: ciascun *termoconvettore* ha una potenza di alimentazione della ventola di circolazione di poche decine (al massimo un centinaio nei modelli più potenti) di Watt e quindi non si hanno grossi problemi di impiantistica.

La presenza della ventola, e quindi la possibilità di controllare il flusso d'aria non più in conseguenza della sola convezione naturale rende possibile l'installazione di queste unità anche a soffitto a parete in posizione non a pavimento. Ciò rende più flessibile il loro utilizzo rendendo fruibili spazi che altrimenti sarebbero occupati dai terminali e/o da questi impediti.

Inoltre nelle scuole o negli ospedali condizioni di sicurezza e/o di igienicità possono obbligare ad avere terminali non accessibili a pavimento e in questo caso i *termoconvettori* vanno benissimo. Qualche problema in più si ha nella manutenzione essendo questi componenti dotati di organi mobili. Inoltre se la selezione non è effettuata con attenzione si possono avere problemi di rumorosità indotta dall'aria in uscita dalle bocchette di mandata. La selezione dei termoconvettori viene effettuata mediante i cataloghi dei costruttori ove, oltre le dimensioni e i dati tecnici usuali, viene indicata la potenzialità termica nominale con acqua di alimentazione a 50 °C.

11.13.2 TERMOVENTILCONVETTORI (FAN COIL)

I *termoventilconvettori* sono in tutto identici ai *termoconvettori* con la differenza che hanno di solito due batterie, una fredda per il raffrescamento ed una calda per il riscaldamento. Questi terminali vengono utilizzati per gli impianti di condizionamento misti (acqua-aria) e di riscaldamento invernale.

L'esigenza della doppia batteria nasce da problemi dimensionali delle reti di distribuzione dell'acqua fredda e dell'acqua calda: le potenze in gioco in inverno e in estate sono in valore assoluto diverse come pure diverse sono differenze di temperatura fra ingresso e uscita (5 °C in estate, 10 °C in inverno). Di solito la batteria calda è di minore superficie di scambio rispetto alla batteria fredda.

In Figura 371 si ha lo schema costruttivo (spaccato) di un moderno ventilconvettore nel quale sono ben visibili la batteria di scambio termico e la ventola di circolazione dell'aria (*posta in alto, in aspirazione*) e in Figura 372 si ha la vista interna di un ventilconvettore.

I problemi di installazione dei *termoventilconvettori* sono gli stessi dei *termoconvettori* con l'aggiunta della rete di dispersione della condensa.

Avviene, infatti, che in estate la batteria fredda condensi il vapore d'acqua presente nell'aria e quindi occorre prevedere una tubazione che porti la condensa così prodotta in una rete di scarico opportunamente predisposta altrimenti si possono avere spiacevoli travasi di acqua con danneggiamento delle pareti, del pavimento e del soffitto.

Per la selezione dei fan coil occorre utilizzare i dati tecnici forniti dalle case costruttrici: in essi sono date le potenzialità termiche (calda e fredda) e il rapporto fra calore sensibile e calore latente che è possibile ottenere. I fan coils possono anche avere una presa di aria esterna nel caso di impianti senza aria primaria. In questo modo si fornisce agli ambienti l'aria necessaria per il ricambio fisiologico.

Ciò consente un leggero controllo dell'umidità interna. Con gli impianti ad aria primaria i fan coil non hanno prese esterne e possono fornire prevalentemente calore sensibile. L'umidità degli ambienti viene controllata mediante l'aria primaria.

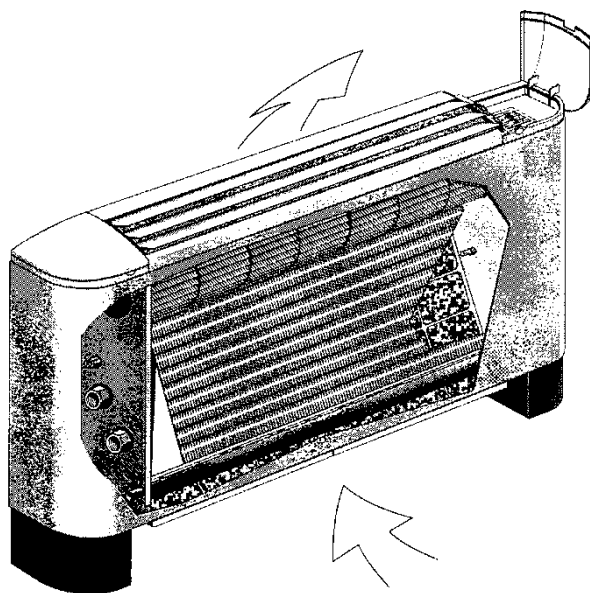


Figura 371: Schema costruttivo di un ventilconvettore



Figura 372: Vista dell'interno di un ventilconvettore – Batteria di scambio e ventilatore

Grandezza (Sizes)	Vel. (Speed)	Portata aria (Air flow) [m³/h]	TEMPERATURA ACQUA (Water Temperature) [°C]											
			Entrata (Inlet) 50°C		Uscita (Outlet) 40°C		Entrata (Inlet) 70°C		Uscita (Outlet) 60°C		Entrata (Inlet) 80°C		Uscita (Outlet) 70°C	
			Portata Acqua (Water flow) [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza tot. (Total capacity) [W]		Portata Acqua (Water flow) [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza tot. (Total capacity) [W]		Portata Acqua (Water flow) [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza sens. (Sensible capacity) [W]	
10	1	108	40	0.3	465		72	0.9	837		88	1.3	1023	
	2	141	53	0.5	610		95	1.6	1099		116	2.3	1343	
	3	221	73	1	843		131	3	1517		160	4.3	1855	
20	1	118	40	0.4	465		72	1.1	837		88	1.5	1023	
	2	169	55	0.7	640		99	2.1	1151		121	2.9	1407	
	3	253	78	1.4	901		140	4.1	1622		171	5.8	1983	
30	1	188	63	0.8	727		113	2.6	1308		138	3.5	1600	
	2	264	88	1.7	1017		158	4.9	1831		193	6.9	2238	
	3	384	118	3	1366		212	8.6	2459		259	12.5	3006	
40	1	239	83	1.8	959		149	5.3	1727		182	7.5	2110	
	2	337	115	3.5	1337		207	10	2407		253	14.6	2942	
	3	469	150	6	1744		270	17.5	3140		330	24.8	3837	
60	1	306	103	3.3	1192		186	9.8	2145		226	13.9	2622	
	2	446	150	7.2	1744		270	21	3140		330	29.8	3837	
	3	612	196	12.1	2267		351	36.6	4080		429	50.4	4988	

Figura 373: Dati di targa di un ventilconvettore

Grandezza (Sizes) Vel. (Speed) Portata aria (Air flow) [m³/h]			TEMPERATURA ACQUA (Water Temperature) [°C]									
			Entrata (Inlet) 6°C				Uscita (Outlet) 11°C		Entrata (Inlet) 10°C		Uscita (Outlet) 15°C	
			Portata Acqua (Water flow) [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza tot. (Total capacity) [W]	Potenza sens. (Sensible capacity) [W]	Portata Acqua (Water flow) [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza tot. (Total capacity) [W]	Potenza sens. (Sensible capacity) [W]		
01	1	122	113	0.6	657	482	69	0.2	420	420		
	2	158	126	0.8	738	578	85	0.3	490	490		
	3	227	166	1	965	774	104	0.4	607	607		
02	1	185	181	1.7	1053	765	110	0.5	645	593		
	2	242	225	2.1	1306	947	139	0.6	808	742		
	3	349	285	2.9	1656	1260	176	1	1026	980		
03	1	270	265	3.3	1538	1076	164	1.2	952	843		
	2	351	351	5.8	2039	1420	217	2.2	1262	1113		
	3	404	395	7.4	2295	1592	244	2.8	1421	1248		
04	1	262	266	4.8	1550	1246	184	1.6	1080	1080		
	2	344	386	7	2247	1807	244	2.7	1416	1416		
	3	453	483	10.9	2808	2237	302	4.2	1753	1753		
05	1	362	420	10	2442	1592	260	3.8	1512	1248		
	2	495	533	16	3105	2045	330	6.1	1920	1602		
	3	575	592	19.9	3443	2305	367	7.5	2130	1805		
06	1	430	520	16	3030	1936	322	6.1	1874	1520		
	2	575	645	24.7	3748	2452	399	9.3	2320	1925		
	3	685	733	32	4261	2818	454	12	2638	2210		
07	1	488	670	38.5	3895	2410	415	14.6	2411	1890		
	2	580	796	51	4470	2800	476	19	2766	2192		
	3	708	893	68.5	5190	3292	553	26	3212	2580		
08	1	782	853	22	4957	3315	528	8.3	3070	2600		
	2	952	991	29.8	5765	3810	614	11	3567	2985		
	3	1195	1182	38	6870	4656	731	14.5	4253	3650		
09	1	770	853	22	4957	3315	568	9.8	3303	2715		
	2	1018	1128	39	6556	4325	698	14.7	4059	3389		
	3	1242	1310	52	7620	5100	810	20	4716	4000		

Figura 374: Portate di acqua nominali di un ventilconvettore

Selezione dei Termoventilconvettori (Fan Coil)

La selezione di questi terminali va fatta con oculatezza. In primo luogo occorre determinare, per ciascun ambiente, il numero di unità da installare in funzione della qualità della distribuzione dell'aria nell'ambiente.

Successivamente, scelto il tipo di fan coil, nota la temperatura dell'acqua di alimentazione (o il Δt in alcuni cataloghi) si seleziona il componente che fornisce una potenzialità pari o superiore a quella desiderata (sia per l'inverno che per l'estate).

La selezione va operata per una velocità della ventala intermedia. Di solito, infatti, si hanno tre velocità delle ventole alle quali corrispondono rese termiche differenti (convezione forzata). Si ricordi, però, che a velocità elevate si hanno anche rumorosità elevate e quindi, tranne casi particolari, è bene selezionare una velocità di progetto media.

Questa scelta consente anche di avere una riserva di potenza in caso di necessità.

I Data Sheet dei Costruttori forniscono i dati dimensionali e funzionali dei fan coil selezionati. Fra questi dati è molto importante la portata richiesta dal fan coil. Questa dovrà essere fornita dalla rete di distribuzione dell'acqua (vedi Volume 3°).

Nel caso di fan coil a quattro tubi si hanno batterie calda e fredda separate e quindi circuiti di alimentazione separati. Nel caso di fan coil a due tubi la batteria di scambio è unica e pertanto occorre verificare le rese termiche sia per il riscaldamento che per il raffrescamento.

Spesso si sceglie un $\Delta t = 5\text{ °C}$ sia per l'acqua calda che per l'acqua fredda e questa soluzione garantisce unicità di portata dell'acqua e della pompa. Tuttavia può aversi un carico invernale più elevato di quello estivo (in funzione della zona climatica) e allora si può imporre $\Delta t = 10\text{ °C}$ per l'acqua calda e $\Delta t = 5\text{ °C}$ per l'acqua fredda. Le portate dei singoli fan coil e quelle dei circuiti cambieranno e così pure le caratteristiche di alimentazione delle pompe che dovranno essere diverse per l'estate e per l'inverno.

Osservazione sui termoconvettori e fan coil

E' uso corrente avere termoconvettori con batteria ad un rango ovvero anche fan coils a quattro tubi con batteria a 3 ranghi per l'estate e ad un rango per l'inverno. Le temperature di riferimento per il dimensionamento dei termoconvettori e dei fan coils sono, di norma,

- *Acqua fredda in regime estivo:* 7 °C entrante, 12 °C uscente
- *Acqua calda per il regime invernale batteria 1 rango* 70 °C entrante 60 °C uscente.

E' comunque possibile avere funzionamenti a temperature di alimento diverse da quelle sopra indicate e i vari Costruttori forniscono tabelle e/o abachi adatti a calcolare le due potenzialità delle batterie sia a 3 ranghi che a ad 1 rango.

Va comunque tenuto presente che quasi sempre i fan coil sono utilizzati, per problemi di costo di impianto, nella configurazione a due tubi e pertanto il problema di alimentare le batterie con acqua a bassa temperatura non si pone.

Anche se in inverno si utilizza acqua entrante a 45 °C ed uscente a 40 °C (vedasi il caso di accoppiamento con pompe di calore) la superficie delle batterie a tre ranghi è tale che la potenzialità termica di riscaldamento è sempre soddisfatta.

Tuttavia se si usano fan coil a 4 tubi (in grado di dare contemporaneamente freddo o caldo a seconda delle necessità del carico ambiente) allora si pone un grosso problema nell'alimentare la batteria calda ad 1 rango con acqua a 45 °C . La potenzialità termica di quest'ultima, infatti, si riduce notevolmente con il rischio di non potere soddisfare il carico ambiente. In definitiva un fan coil che riesce a dare in estate di 3 kW frigoriferi riesce a dare in inverno, con batteria ad 1 rango alimentata a 45 °C , circa un 1 kW caldo. Ne consegue che non si hanno le necessarie condizioni di simmetria di carico che le zone climatiche A e B richiedono.

Capacità di riscaldamento, batteria per impianti a due tubi con ventilatore funzionante alla massima velocità

Unità con ventilatore centrifugo

Portata d'acqua		Differenza di temperatura K	Capacità di riscaldamento con ventilatore a massima velocità e batteria per impianto a due tubi						
l/h	l/s		42N 16	42N 25	42N 33	42N 43	42N 50	42N 60	42N 75
100	0,03	20	1,03	1,52	1,72	1,52	1,61	1,66	1,73
200	0,06	20	1,27	2,04	2,47	2,42	2,60	2,71	2,87
248	0,07	20	1,33	2,18	2,68	2,72	2,94	3,08	3,31
300	0,08	20	1,38	2,28	2,85	2,98	3,24	3,42	3,72
418	0,12	20	1,45	2,44	3,09	3,38	3,72	3,98	4,46
500	0,14	20	1,48	2,51	3,20	3,58	3,97	4,25	4,85
607	0,17	20	1,51	2,58	3,31	3,78	4,22	4,53	5,23
717	0,20	20	1,53	2,63	3,39	3,93	4,41	4,75	5,54
850	0,24	20	1,55	2,67	3,46	4,08	4,60	4,96	5,84
1010	0,28	20	1,57	2,71	3,52	4,21	4,77	5,15	6,12
1100	0,31	20	1,58	2,73	3,55	4,27	4,85	5,24	6,25
1249	0,35	20	1,59	2,76	3,59	4,35	4,96	5,37	6,44
1500	0,42	20	1,60	2,79	3,64	4,46	5,10	5,53	6,68
1800	0,50	20	1,62	2,81	3,68	4,55	5,22	5,67	6,90
2500	0,69	20	1,63	2,85	3,74	4,69	5,41	5,89	7,24
3000	0,83	20	1,64	2,87	3,76	4,75	5,49	5,98	7,39
100	0,03	30	1,55	2,26	2,56	2,30	2,42	2,49	2,57
200	0,06	30	1,91	3,05	3,70	3,67	3,93	4,10	4,33
248	0,07	30	2,02	3,25	4,02	4,13	4,45	4,67	5,01
300	0,08	30	2,07	3,40	4,26	4,51	4,89	5,18	5,64
418	0,12	30	2,17	3,66	4,63	5,11	5,61	5,99	6,76
500	0,14	30	2,22	3,75	4,79	5,41	5,98	6,40	7,32
607	0,17	30	2,28	3,85	5,00	5,70	6,35	6,82	7,89
717	0,20	30	2,30	3,92	5,07	6,00	6,65	7,15	8,36
850	0,24	30	2,33	3,99	5,17	6,14	6,84	7,46	8,80
1010	0,28	30	2,35	4,05	5,27	6,34	7,18	7,85	9,23
1100	0,31	30	2,36	4,08	5,31	6,43	7,29	7,92	9,42
1249	0,35	30	2,38	4,11	5,36	6,55	7,45	8,07	9,80
1500	0,42	30	2,40	4,16	5,43	6,70	7,66	8,31	10,10
1800	0,50	30	2,41	4,20	5,49	6,83	7,84	8,52	10,40
2500	0,69	30	2,44	4,26	5,58	7,03	8,12	8,83	10,90
3000	0,83	30	2,45	4,28	5,62	7,12	8,24	8,98	11,10
100	0,03	40	2,07	3,01	3,41	3,11	3,26	3,34	3,43
200	0,06	40	2,55	4,06	4,94	4,97	5,30	5,52	5,84
248	0,07	40	2,67	4,33	5,36	5,57	5,98	6,29	6,76
300	0,08	40	2,77	4,54	5,69	6,06	6,57	6,96	7,61
418	0,12	40	2,90	4,85	6,17	6,87	7,54	8,05	9,10
500	0,14	40	2,96	5,00	6,40	7,26	8,03	8,59	9,84
607	0,17	40	3,02	5,13	6,61	7,66	8,53	9,15	10,60
717	0,20	40	3,06	5,23	6,76	7,96	8,92	9,59	11,20
850	0,24	40	3,10	5,32	6,90	8,24	9,28	10,00	11,80
1010	0,28	40	3,13	5,40	7,02	8,49	9,62	10,40	12,40
1100	0,31	40	3,15	5,43	7,08	8,61	9,77	10,60	12,60
1249	0,35	40	3,17	5,48	7,15	8,77	9,98	10,80	13,00
1500	0,42	40	3,19	5,54	7,24	8,97	10,30	11,10	13,50
1800	0,50	40	3,22	5,59	7,32	9,14	10,50	11,40	13,90
2500	0,69	40	3,25	5,67	7,44	9,40	10,80	11,80	14,50
3000	0,83	40	3,26	5,70	7,49	9,51	11,00	12,00	14,80
100	0,03	50	2,60	3,77	4,27	3,93	4,11	4,21	4,32
200	0,06	50	3,20	5,08	6,20	6,29	6,69	6,97	7,38
248	0,07	50	3,35	5,42	6,71	7,03	7,54	7,94	8,55
300	0,08	50	3,47	5,68	7,12	7,65	8,27	8,76	9,62
418	0,12	50	3,63	6,08	7,73	8,66	9,49	10,10	11,50
500	0,14	50	3,71	6,25	8,01	9,15	10,10	10,80	12,40
607	0,17	50	3,78	6,42	8,27	9,64	10,70	11,50	13,40
717	0,20	50	3,83	6,54	8,47	10,00	11,20	12,10	14,10
850	0,24	50	3,88	6,66	8,64	10,40	11,70	12,60	14,90
1010	0,28	50	3,92	6,75	8,79	10,70	12,10	13,10	15,60
1100	0,31	50	3,94	6,80	8,86	10,80	12,30	13,30	15,90
1249	0,35	50	3,96	6,86	8,95	11,00	12,50	13,60	16,40
1500	0,42	50	4,00	6,93	9,07	11,30	12,90	14,00	17,00
1800	0,50	50	4,02	7,00	9,16	11,50	13,20	14,30	17,50
2500	0,69	50	4,06	7,09	9,30	11,80	13,60	14,80	18,30
3000	0,83	50	4,08	7,13	9,36	11,90	13,80	15,00	18,60

Tabella 63: Potenzialità frigorifera di fan coil a due tubi con differenza di temperatura acqua – ambiente

Capacità di riscaldamento, batteria per impianti a quattro tubi con ventilatore funzionante alla massima velocità

Unità con ventilatore tangenziale

Portata d'acqua		Differenza di temperatura K	Capacità di riscaldamento con ventilatore a massima velocità e batteria per impianto a quattro tubi				
l/h	l/s		42N 16	42N 25	42N 33	42N 43	42N 50
100	0,03	20	0,82	1,02	1,10	1,34	1,37
130	0,04	20	0,87	1,12	1,22	1,51	1,55
200	0,06	20	0,94	1,26	1,39	1,77	1,82
240	0,07	20	0,96	1,31	1,45	1,87	1,93
300	0,08	20	0,99	1,37	1,52	1,98	2,05
350	0,10	20	1,00	1,40	1,56	2,05	2,12
500	0,14	20	1,03	1,47	1,65	2,20	2,28
700	0,19	20	1,05	1,52	1,71	2,30	2,39
900	0,25	20	1,06	1,55	1,75	2,37	2,46
1100	0,31	20	1,07	1,57	1,77	2,41	2,51
100	0,03	30	1,22	1,53	1,65	2,00	2,04
130	0,04	30	1,30	1,68	1,83	2,25	2,31
200	0,06	30	1,40	1,89	2,08	2,65	2,72
240	0,07	30	1,44	1,96	2,17	2,80	2,88
300	0,08	30	1,47	2,05	2,28	2,97	3,06
350	0,10	30	1,49	2,10	2,34	3,08	3,18
500	0,14	30	1,54	2,20	2,47	3,29	3,40
700	0,19	30	1,57	2,27	2,56	3,45	3,57
900	0,25	30	1,58	2,31	2,61	3,54	3,68
1100	0,31	30	1,59	2,34	2,65	3,61	3,75
100	0,03	40	1,62	2,05	2,21	2,67	2,72
130	0,04	40	1,75	2,29	2,50	3,11	3,18
200	0,06	40	1,86	2,52	2,78	3,54	3,64
240	0,07	40	1,91	2,62	2,90	3,74	3,85
300	0,08	40	1,96	2,73	3,04	3,97	4,09
350	0,10	40	1,99	2,80	3,12	4,11	4,24
500	0,14	40	2,04	2,93	3,29	4,39	4,54
700	0,19	40	2,08	3,02	3,41	4,60	4,76
900	0,25	40	2,10	3,08	3,48	4,72	4,90
1100	0,31	40	2,12	3,12	3,53	4,81	4,99
100	0,03	50	2,03	2,57	2,77	3,34	3,41
130	0,04	50	2,16	2,81	3,06	3,78	3,86
200	0,06	50	2,33	3,16	3,49	4,44	4,56
240	0,07	50	2,39	3,29	3,64	4,69	4,83
300	0,08	50	2,45	3,42	3,81	4,97	5,12
350	0,10	50	2,48	3,51	3,91	5,15	5,31
500	0,14	50	2,55	3,67	4,12	5,49	5,68
700	0,19	50	2,60	3,78	4,26	5,75	5,96
900	0,25	50	2,63	3,85	4,35	5,91	6,13
1100	0,31	50	2,64	3,90	4,41	6,01	6,24
100	0,03	60	2,44	3,09	3,33	4,02	4,10
130	0,04	60	2,59	3,39	3,69	4,55	4,65
200	0,06	60	2,79	3,81	4,20	5,35	5,49
240	0,07	60	2,86	3,96	4,38	5,65	5,81
300	0,08	60	2,94	4,12	4,58	5,98	6,17
350	0,10	60	2,98	4,22	4,71	6,19	6,39
500	0,14	60	3,06	4,41	4,95	6,61	6,83
700	0,19	60	3,12	4,54	5,12	6,92	7,16
900	0,25	60	3,15	4,63	5,23	7,10	7,36
1100	0,31	60	3,17	4,68	5,30	7,22	7,49
100	0,03	70	2,84	3,62	3,90	4,70	4,79
130	0,04	70	3,07	4,06	4,42	5,49	5,61
200	0,06	70	3,26	4,45	4,91	6,26	6,42
240	0,07	70	3,34	4,63	5,12	6,61	6,80
300	0,08	70	3,43	4,82	5,36	7,00	7,21
350	0,10	70	3,48	4,93	5,50	7,24	7,47
500	0,14	70	3,57	5,15	5,78	7,72	7,98
700	0,19	70	3,63	5,31	5,98	8,08	8,36
900	0,25	70	3,67	5,40	6,10	8,29	8,59
1100	0,31	70	3,70	5,46	6,18	8,44	8,75

Differenza di temperatura = Temperatura di ingresso acqua calda – Temperatura di ingresso aria a bulbo secco
Massima temperatura di funzionamento lato acqua: 90°C; Massima pressione di funzionamento lato acqua: 14 bar.

Tabella 64: Potenzialità termica di fan coil a due tubi con differenza di temperatura acqua – ambiente

Ad esempio nelle zone B si hanno carichi massimi estivi ed invernali del tutto comparabili per cui un ambiente può richiedere, ad esempio, 3 kW in estate e 3 kW circa in inverno. In queste condizioni un fan coil a quattro tubi alimentato con refrigeratore – pompa di calore potrà soddisfare il carico ambiente in estate ma non inverno.

Questa situazione, per altro standard per tutti i costruttori e prevista dalle norme Eurovent europee, non si pone per le zone fredde (dalla C in su) perché in queste l'utilizzo della pompa di calore non risulta conveniente o del tutto inopportuna (per il rischio delle gelate).

Pertanto nelle zone fredde (e quindi nella stragrande maggioranza delle regioni europee e nel nord dell'Italia) si utilizzano i fan coil a quattro tubi con alimentazione 7-12 °C in estate e 70-60 °C in inverno con caldaie a basse temperatura.

Ciò pone notevoli problemi nella climatizzazione delle zone temperate con refrigeratori – pompa di calore con fan coil a quattro tubi. In pratica occorre forzare l'alimentazione delle batterie calde ad 1 rango dei fan coils con differenze di temperatura dell'acqua di 10 °C (ad esempio 45-35 °C) in modo da avere una maggiore resa termica, al limite sovradimensionando il fan coil per l'estate in modo da avere una maggiore resa termica in inverno.

11.13.3 BOCCHETTE E DIFFUSORI

Le bocchette di mandata (e di ripresa per i circuiti con ricircolo dell'aria) sono solitamente collegate ai canali dell'aria mediante opportuni tronchetti di collegamento. Esse sono dotate di alette di orientamento del flusso d'aria e, nei casi di bocchette più complesse, anche di una serranda di regolazione a monte, vedi Figura 375. Le bocchette sono caratterizzate da una velocità di lancio, v_k , e da un lancio, L_T , dell'aria fino a quando essa riduce la sua velocità al di sotto di 0.3 m/s. I diffusori hanno una funziona analoga quella delle bocchette. Essi sono del tipo indicato in Figura 376, cioè a forma quadrata o circolare. La loro selezione è del tutto simile a quella indicata per le bocchette e pertanto si fa ricorso ad abachi o tabelle fornite dai costruttori.

Maggiori e più approfonditi dettagli sono fornito più avanti per la distribuzione dell'aria.

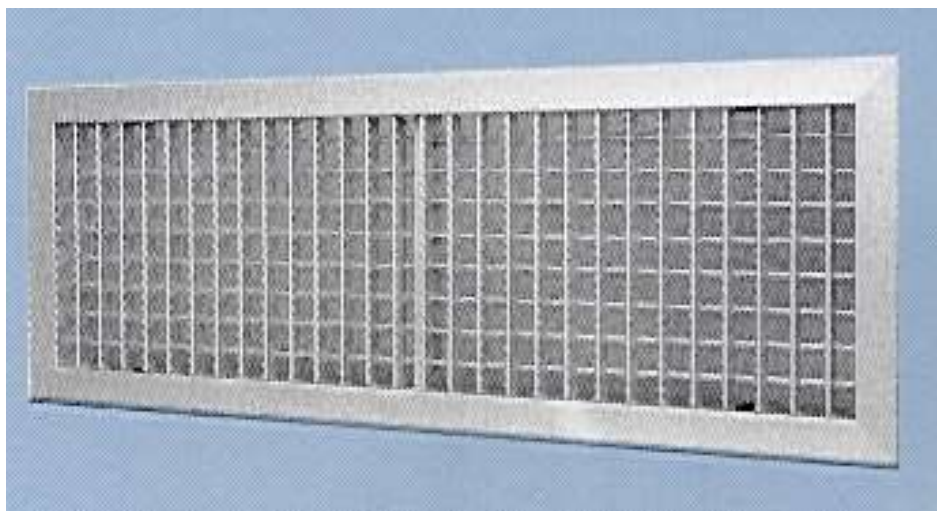


Figura 375: Bocchetta di mandata dell'aria con alette in alluminio

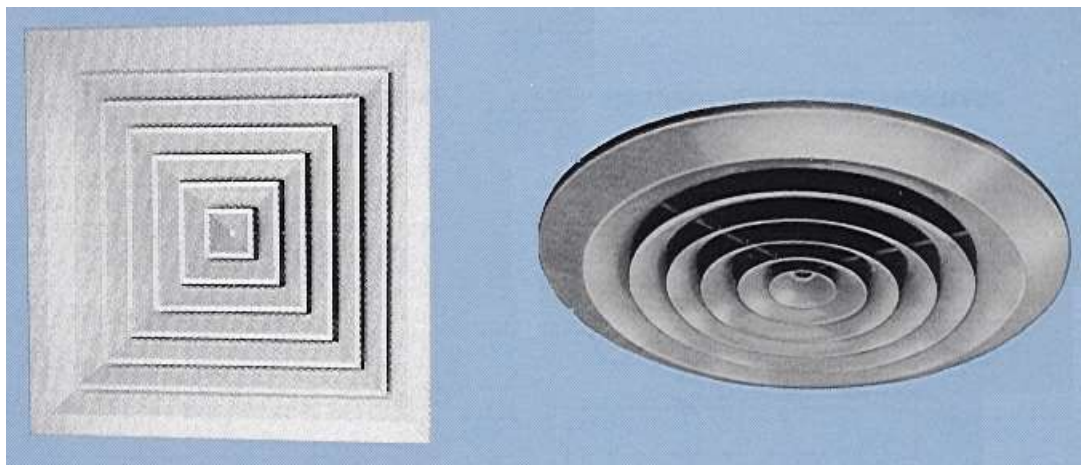


Figura 376: Tipologie di diffusori

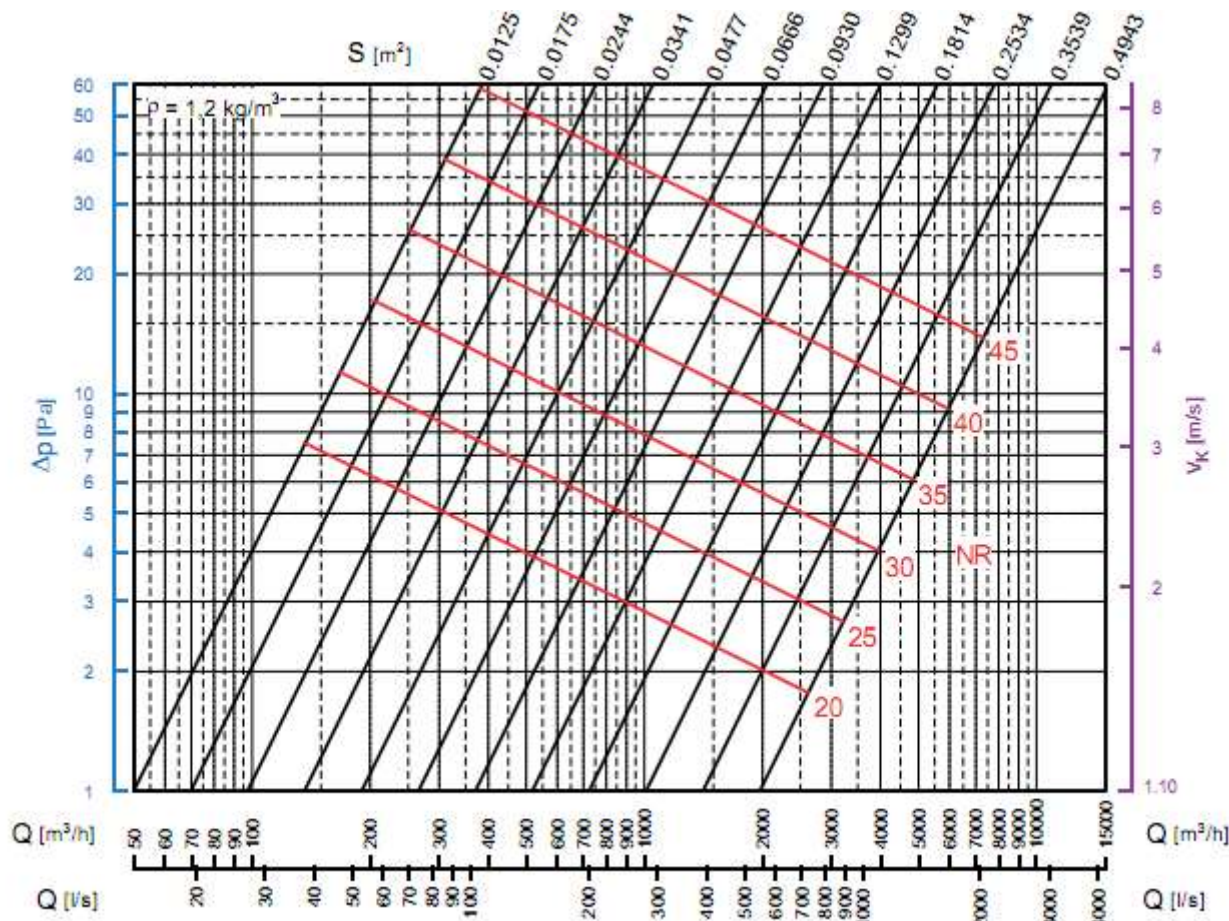


Figura 379: Abaco di selezione di una bocchetta di mandata

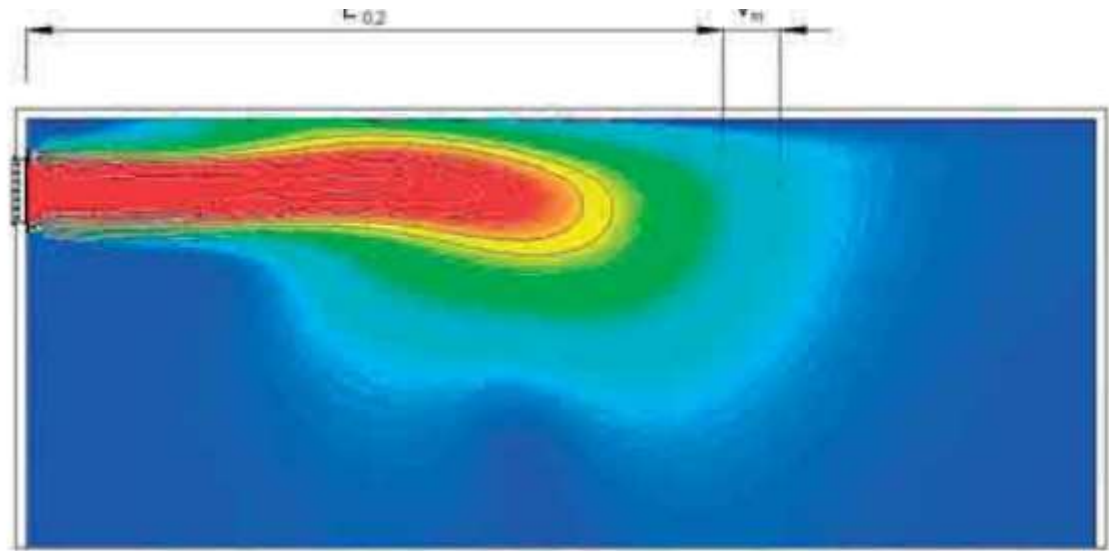


Figura 380: Esempio di lancio L_T

Area libera Free area	D.N. (mm) SIZE (mm)	Vel. m/s		1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
		Press.	0°	2.5	4.3	7.1	9.7	13.2	17.5	27.2	39.6	53.6	69.9	88.6
		Tot.	22°	2.8	4.8	7.9	10.9	14.7	19.8	30.5	44.5	60.2	78.2	99.6
		mm.c.a.	45°	4.1	7.4	11.9	16.2	22.4	29.7	46.0	67.0	90.4	117.9	149.9
m/s														
dm² 1.2 200 x 100	Lancio - Throw	m³/h NC		92	118	151	185	210	244	302	361	420	487	546
		0°	0.75 0.60 0.25	1.2 2.1 4.0	1.8 2.4 4.6	2.1 3.4 5.2	2.7 4.0 5.8	3.0 4.6 6.1	3.4 4.9 6.7	4.3 5.2 7.3	4.8 5.8 7.9	5.2 6.4 8.6	5.5 6.7 9.4	5.8 7.3 10.1
		22°	0.75 0.60 0.25	0.9 1.8 3.0	1.5 1.8 3.7	1.8 2.7 4.3	2.1 3.0 4.6	2.4 3.7 4.9	2.7 4.0 5.5	3.4 4.3 5.8	3.7 4.6 6.4	4.3 5.2 7.0	4.4 5.5 7.6	4.6 5.8 7.9
		45°	0.75 0.60 0.25	0.8 0.9 2.1	0.9 1.2 2.4	1.2 1.5 2.7	1.3 2.1 3.0	1.5 2.2 3.2	1.8 2.4 3.4	2.1 2.7 3.7	2.4 3.0 4.0	2.5 3.2 4.3	2.7 3.4 4.6	3.0 3.7 4.9
		300 x 100	Lancio - Throw	m³/h NC		134	176	218	260	302	353	437	521	613
0°	0.75 0.60 0.25	1.5 2.4 4.9		2.1 3.4 5.8	2.7 4.0 6.4	3.0 4.9 7.0	3.7 5.2 7.3	4.3 5.8 7.9	5.2 6.4 8.8	5.8 7.0 9.6	6.1 7.6 10.7	6.7 7.9 11.3	7.0 8.2 12.2	
22°	0.75 0.60 0.25	1.2 1.8 4.0		1.8 2.7 4.6	2.1 3.0 5.2	2.4 4.0 5.5	3.0 4.3 5.8	3.4 4.8 6.4	4.3 5.2 7.0	4.6 5.5 7.9	4.9 6.1 8.5	5.5 6.1 9.1	5.7 6.7 9.6	
45°	0.75 0.60 0.25	0.9 1.2 2.4		1.2 1.5 2.7	1.3 2.1 3.0	1.5 2.4 3.4	1.8 2.7 3.7	2.1 2.9 4.0	2.4 3.4 4.6	2.7 3.7 4.9	3.0 4.0 5.2	3.4 4.1 5.5	3.7 4.3 6.1	
350x 100	Lancio - Throw	m³/h NC			151	202	252	302	352	403	504	605	706	806
0°		0.75 0.60 0.25	1.5 2.7 5.2	2.4 3.4 6.1	2.7 4.3 6.7	3.4 5.2 7.3	4.0 5.8 7.9	4.8 6.1 8.5	5.5 7.0 9.4	6.1 7.6 10.4	6.7 8.2 11.3	7.3 8.8 12.2	7.6 9.1 12.8	
22°		0.75 0.60 0.25	1.2 2.1 4.3	1.8 2.7 4.9	2.1 3.4 5.5	2.7 4.3 5.8	3.0 4.6 6.4	3.7 4.9 6.7	4.3 5.5 7.6	4.9 6.1 8.2	5.5 6.7 9.1	5.8 7.0 9.6	6.1 7.3 10.4	
45°		0.75 0.60 0.25	0.9 1.2 2.4	1.2 1.8 3.0	1.5 2.1 3.4	1.8 2.4 3.7	2.1 2.7 4.0	2.4 3.0 4.3	2.7 3.4 4.9	3.0 3.7 4.9	3.4 4.0 5.2	3.7 4.3 5.8	3.8 4.6 6.1	
400 x 100		Lancio - Throw	m³/h NC		168	227	286	344	403	454	571	689	798	918
0°	0.75 0.60 0.25		1.5 2.7 5.5	2.4 3.7 6.4	3.0 4.6 7.3	3.7 5.8 7.9	4.3 6.1 8.5	4.9 6.7 9.1	5.5 7.3 10.1	6.1 7.9 11.3	6.7 8.5 12.2	7.0 8.5 12.8	7.6 9.1 12.8	7.9 9.6 13.7
22°	0.75 0.60 0.25		1.2 2.1 4.3	1.8 3.0 5.2	2.4 3.7 5.8	3.0 4.6 6.4	3.4 4.9 6.7	4.0 5.5 7.3	4.9 5.8 7.9	5.5 6.4 9.1	5.7 6.7 9.6	6.1 7.3 9.6	6.4 7.3 10.4	
45°	0.75 0.60 0.25		0.9 1.2 2.7	1.2 1.8 3.4	1.5 2.4 3.7	1.8 2.7 4.0	2.1 3.0 4.3	2.4 3.4 4.8	2.7 3.7 4.9	3.0 4.0 5.5	3.4 4.3 5.8	3.7 4.3 6.1	3.8 4.6 6.1	4.0 4.9 6.7
450 x 100	Lancio - Throw		m³/h NC		193	260	328	395	462	521	655	790	916	1050
0°		0.75 0.60 0.25	1.8 2.7 5.8	2.7 4.0 7.0	3.4 4.9 7.6	4.0 5.8 8.5	4.6 6.7 9.1	5.2 7.0 9.8	6.4 7.9 11.0	7.0 8.2 12.2	7.6 9.1 12.8	8.2 9.1 12.8	8.5 10.1 13.7	8.8 10.7 14.6
22°		0.75 0.60 0.25	1.5 2.4 4.8	2.1 3.0 5.5	2.7 4.0 6.1	3.0 4.6 6.7	3.7 4.9 7.3	4.3 5.5 7.9	5.2 6.4 8.8	5.5 6.7 9.6	6.1 7.3 10.4	6.7 7.9 11.0	6.9 8.5 11.6	
45°		0.75 0.60 0.25	0.9 1.5 3.0	1.2 1.8 3.4	1.5 2.4 4.0	2.1 3.0 4.3	2.4 3.4 4.6	2.7 3.7 4.9	3.4 4.0 5.5	3.7 4.3 6.1	3.9 4.6 6.4	4.1 4.8 7.0	4.3 5.2 7.3	4.3 5.2 7.3
450 x 150		Lancio - Throw	m³/h NC		302	403	504	605	706	806	1008	1210	1411	1613
0°	0.75 0.60 0.25		2.1 3.7 7.3	3.4 4.9 8.5	4.3 6.1 9.4	4.9 7.3 10.4	5.8 8.2 11.3	6.7 8.8 12.2	7.9 9.8 13.7	8.8 10.7 14.8	9.4 11.8 15.8	9.4 11.8 15.8	10.0 12.2 17.1	10.7 13.1 18.0
22°	0.75 0.60 0.25		1.8 3.0 5.8	2.7 4.0 6.7	3.4 4.9 7.6	4.0 5.8 8.2	4.6 6.7 9.1	5.5 7.0 9.8	6.4 7.9 11.0	7.0 8.5 11.6	7.6 9.1 12.8	7.9 9.6 13.7	8.5 10.4 14.3	
45°	0.75 0.60 0.25		1.2 1.8 3.7	1.5 2.4 4.3	2.1 3.0 4.9	2.4 3.7 6.2	3.0 4.0 5.8	3.4 4.3 6.1	4.0 4.9 6.7	4.3 5.2 8.4	4.6 5.8 8.4	4.8 5.8 7.9	4.9 6.1 8.1	5.2 6.4 8.8
400 x 200	Lancio - Throw		m³/h NC		344	462	580	697	815	924	1159	1394	1621	1848
0°		0.75 0.60 0.25	2.4 4.0 7.9	3.7 5.2 9.1	4.6 6.7 10.4	5.5 7.9 11.3	6.4 8.8 12.2	7.3 9.4 13.1	8.5 10.4 14.3	9.1 11.6 15.8	9.1 11.6 15.8	10.1 12.2 17.1	10.7 13.1 18.3	11.3 13.7 19.2
22°		0.75 0.60 0.25	1.8 3.0 6.4	3.0 4.3 7.3	3.7 5.5 8.2	4.3 6.4 9.1	5.2 7.0 9.8	5.8 7.8 10.4	6.7 8.2 11.6	7.3 9.1 12.8	7.9 9.6 13.7	8.5 10.4 14.6	8.5 10.4 14.6	9.1 11.9 15.2
45°		0.75 0.60 0.25	1.2 1.8 4.0	1.8 2.7 4.6	2.4 3.4 5.2	3.0 4.0 5.5	3.4 4.3 6.1	4.0 4.8 6.4	4.6 5.2 7.3	5.2 5.8 7.9	5.5 6.1 8.5	5.8 6.1 8.5	5.8 6.1 8.5	6.1 7.0 9.4

Tabella 65: Tabella di selezione delle bocchette di mandata

11.13.4 RECUPERATORI DI CALORE

In alcune zone climatiche è obbligatorio recuperare il calore dell'aria calda espulsa dagli ambienti.

Ma il concetto del recupero termico è utilizzato anche per il condizionamento invernale. Le unità di recupero termico sono scambiatori ad aria a doppio flusso, come indicato in Figura 381. In Figura 384 si può osservare come è fatto internamente questo scambiatore di calore.

I dati tecnici e le prestazioni dei recuperatori sono riportati in Figura 386 e in Tabella 66.

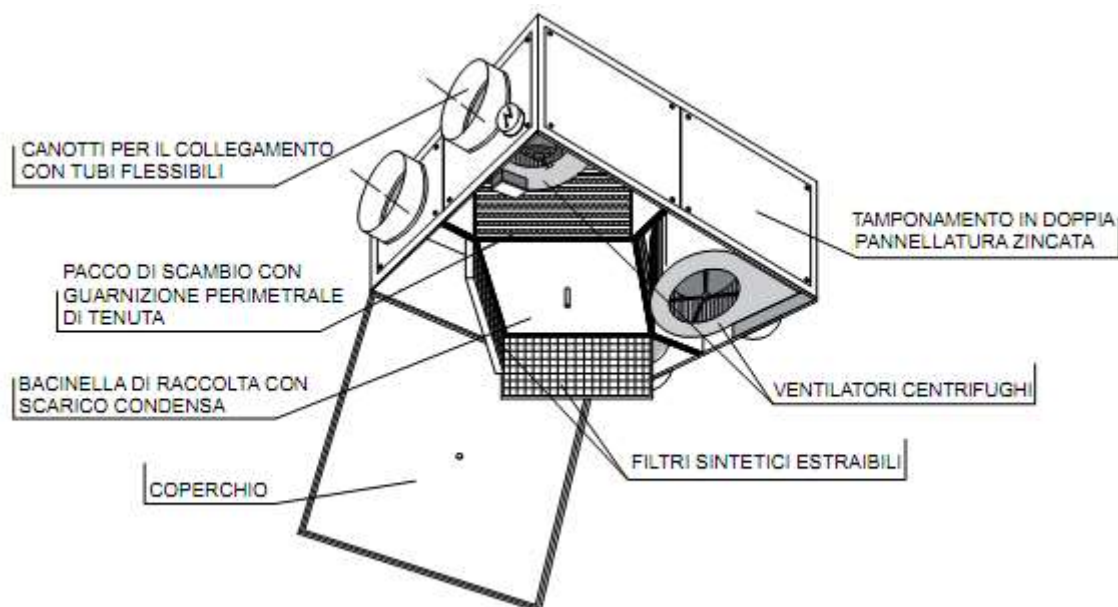


Figura 381: Funzionamento di un recuperatore di calore

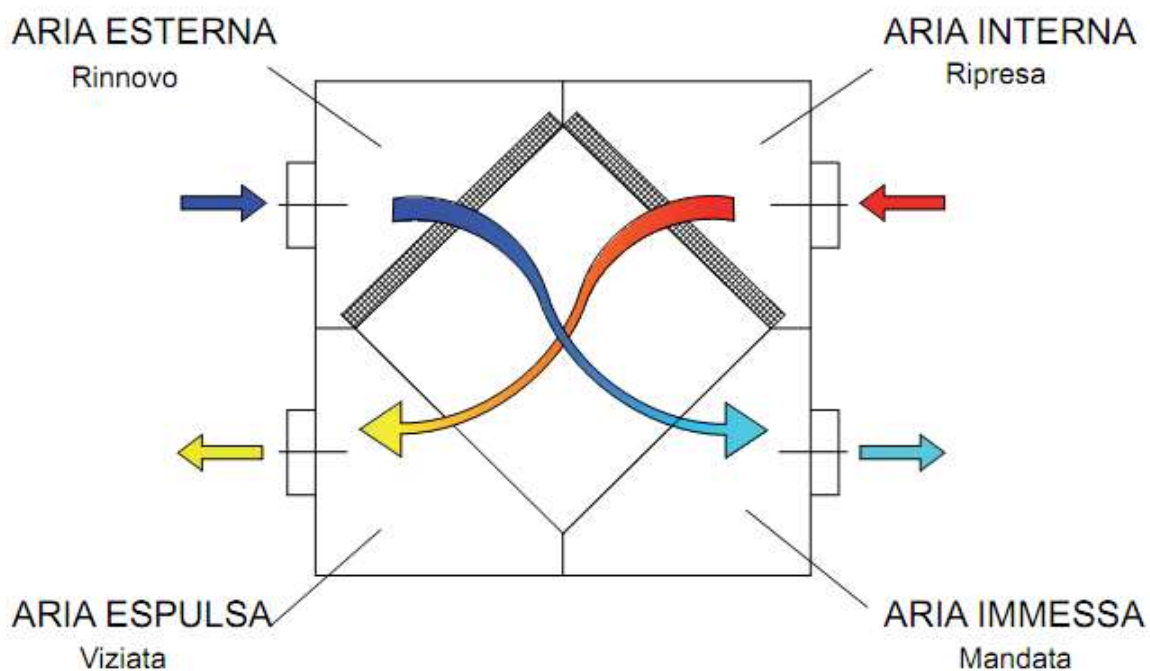


Figura 382: Schema dei flussi incrociati

Modello	Portata massima [m ³ /h]	Pressione statica utile [Pa]	Pressione differenziale massima [Pa]	Efficienza di recupero [%]	Potenza termica recuperata [kW]	Aria espulsa di ripresa		Aria immessa di rinnovo		Condensazione [l/h]
						T _e [°C]	φ _e [%]	T _i [°C]	φ _i [%]	
DRC 600	600	60	1000	52.3	2.63	8.9	91.7	8.1	29.7	0.5
DRC 1000	1000	50	1000	52	3.9	9	91.6	8	29.8	0.8
DRC 1500	1500	130	1000	51	6.2	9.4	90.1	7.4	31.1	1.2
DRC 2000	2000	110	1000	51	8.28	9.4	90.1	7.4	31.1	1.6
DRC 2500	2500	120	1500	50.4	10.3	9.4	90.1	7.3	31.2	2.0
DRC 3000	3000	50	1500	53.9	13.5	8.7	91.6	8.5	29.8	3.0
DRC 3500	3500	90	1500	53	15.5	8.8	92.1	8.2	29.3	3.3
DRC 4000	4000	60	1500	53.5	17.9	8.7	92.4	8.4	29.1	3.9

Figura 383: Prestazioni di un recuperatore di calore

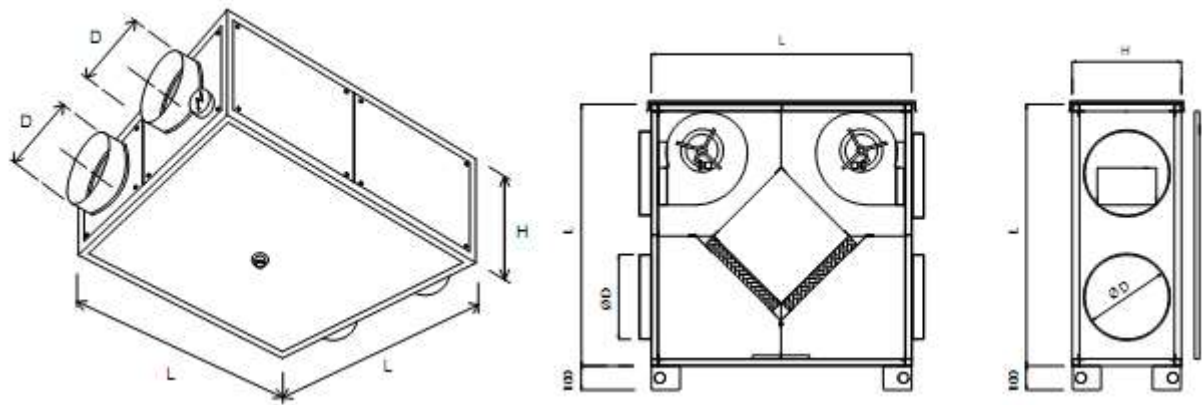


Figura 384: Vista interna di un recuperatore di calore

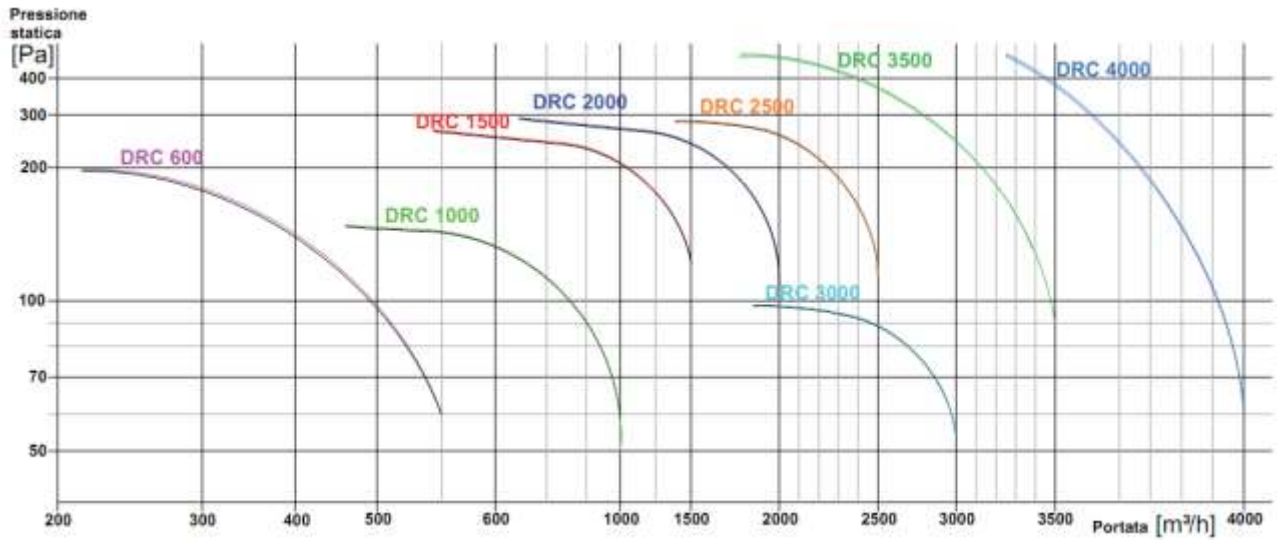


Figura 385: Perdite di carico di un recuperatore di calore

monoblocco di recupero e condizionamento

CARATTERISTICHE (dotazione di serie)

- Unità monoblocco di recupero e condizionamento in pompa di calore
- Elevato COP globale
- Recuperatore a flussi incrociati ad elevata efficienza
- Configurazioni di mandata e ripresa modificabili in cantiere
- Bassi livelli di rumorosità
- Filtro G4
- Regolazione elettronica a microprocessore

ACCESSORI

- Filtri F5 od F7
- Filtri antigrasso
- Terminale remoto a parete
- Batteria di post- riscaldamento ad acqua
- Batteria di post- riscaldamento elettrica

HRU-E R407C		15	25	35
Resa frigorifera	kW	10,1	15,6	21,1
Potenza assorbita	kW	3	4,7	5,9
EER totale	W/W	3,4	3,4	3,6
Resa in riscaldamento	kW	12,6	20,7	26,2
Potenza assorbita	kW	2,7	3,9	5
COP totale	W/W	4,7	5,3	5,2
DATI TECNICI				
Portata d'aria	m3/h	1500	2500	3500
Pressione statica mandata	Pa	190	230	230
Pressione statica ripresa	Pa	160	200	205
Alimentazione elettrica	V-ph-hz	400-3-50		
Dimensioni LxPxH	mm	2000x1220x500	2300x1300x590	2500x1450x690
Peso in funzione	Kg	265	317	380

Tabella 66: Dati tecnici di un monoblocco recuperatore di calore



Figura 386: Vista di un recuperatore di calore all'interno dell'UTA

Si hanno molti altri tipi di recuperatori di calore, rotanti, a piastre, termodinamici, ... Si tralascia la loro presentazione rinviandola ai manuali specializzati o ai cataloghi commerciali.

Selezione di un recuperatore di calore

La selezione viene effettuata tramite abachi e/o tabelle fornite dalle case costruttrici, come sopra esemplificato.

L'efficienza di un recuperatore di calore, secondo la ASHRAE Standard 84, è definita dalla relazione:

$$\eta = \frac{\dot{m}_i (x_{iu} - x_{ii})}{\dot{m}_{\min} (x_{ei} - x_{ii})} = \frac{\dot{m}_e (x_{ei} - x_{ei})}{\dot{m}_{\min} (x_{ei} - x_{ii})}$$

ove si ha:

- η *efficienza su calore sensibili, latente o totale;*
- x_{ii} *temperatura, umidità o entalpia ingresso immissione;*
- x_{iu} *temperatura, umidità o entalpia uscita immissione;*
- x_{ei} *temperatura, umidità o entalpia ingresso espulsione;*
- x_{eu} *temperatura, umidità o entalpia uscita espulsione;*
- $\dot{m}_i$ *portata di immissione in peso;*
- $\dot{m}_e$ *portata di espulsione in peso;*
- $\dot{m}_{\min}$ *portata minore fra le due precedenti.*

12. DICHIARAZIONE ISPESL

12.1 LA DICHIARAZIONE ISPESL

Gli impianti di riscaldamento, con una potenzialità superiore a 34,9 kW (30.000 Kcal/h) al focolare, sono regolamentati dal DM 1/12/1975, titolo II: Norme di sicurezza per gli apparecchi contenenti liquidi caldi sotto pressione e relative specificazioni tecniche applicative (Raccolta R).

Gli impianti di riscaldamento possono essere suddivisi in:

- *impianti di riscaldamento a vaso di espansione aperto*
- *impianti di riscaldamento a vaso di espansione chiuso.*

Prima dell'installazione, deve essere presentata domanda in bollo al dipartimento ISPESL competente per territorio. Tale domanda è presentata dall'Installatore dell'impianto sulla base delle apparecchiature reali che intende installare.

A tale domanda debbono essere allegati:

- *- modello ISPESL RD, firmato dalla ditta installatrice, nel quale saranno indicati i dati di identificazione dell'impianto e del luogo di installazione;*
- *- relazione tecnica redatta sul modello ISPESL RR (per un solo generatore di calore) o RR1 (per più generatori di calore), nei quali il progettista indicherà tutte le caratteristiche richieste, ponendo particolare attenzione alla suddivisione dei circuiti dell'impianto, alle capacità dei relativi vasi di espansione e alla correlazione fra pressione e temperatura. Questi modelli debbono essere firmati da un tecnico progettista iscritto all'Albo*
- *- dichiarazioni del tecnico progettista secondo quanto richiesto nell'appendice VI, della Raccolta R:*
- *- disegno schematico dell'impianto*
- *- fotocopia della prima pagina del libretto matricolare del vaso chiuso, se la sua capacità è superiore ai 25 l.*

Qualora l'esame del progetto risulti positivo, l'utente provvederà a richiedere con un'altra domanda in bollo la verifica di impianto.

A seguito di ogni domanda, l'utente riceverà un bollettino con indicato l'importo per la prestazione richiesta. A versamento effettuato, l'utente provvederà ad inviare l'attestazione di pagamento, senza la quale non sarà possibile effettuare la prestazione richiesta.

12.2 MODULISTICA DA PRESENTARE:

- *Richiesta di esame dei progetti, ai sensi del D.M. 1/12/1975;*
- *duplice copia dei modelli RD - RR - RR/1;*

- *schema di progetto;*
- *dati complementari.*

Di seguito si ha la modulistica completa per la denuncia ISPESL di un impianto di riscaldamento.

Si illustrerà la procedura mediante un esempio completo nel quale sono completate del tutti le schede RD, RR ed RR1.

Per la piena comprensione dei riquadri è opportuno fare riferimento ai disegni che rappresentano il layout della centrale termica con il particolare del collettore di mandata.

Particolare attenzione va posta al dimensionamento dei vasi di espansione chiusi e alla selezione delle valvole di sicurezza.

D.M. 01.12.1975

Generatori di calore per impianti di riscaldamento ad acqua calda sotto pressione
con temperatura non superiore a quella di ebollizione a pressione atmosferica.

RACCOLTA "R"

**ELENCO DELLE FASI DELLA PRASSI OPERATIVA
LISTA DI VERIFICA**

UTENTE: Edificio _____
 Indirizzo _____
 N° pratica _____
 Caldaia _____
 Potenza focolare _____ kW
 Combustibile _____
 Vaso _____
 Dipartimento ISPESL di _____
 A.S.L. di _____

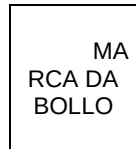
Si tratta di una lista di verifica che costituisce anche una guida per i vari adempimenti necessari per l'omologazione delle Centrali Termiche.

E' importante che l'utente, o per esso l'operatore incaricato, provveda a tutti gli adempimenti previsti, fino al n.17 della lista di verifica, in quanto, diversamente, la Centrale Termica non risulterebbe in regola con le disposizioni di legge.

Nella lista di verifica, per Esecutore si intende l'operatore che normalmente predispone gli elaborati, raccogliendo eventualmente le firme dei soggetti obbligati. Per l'identificazione dei titolari dell'obbligo, vedere il paragrafo delle istruzioni.

	Data	Esecutore
1. Stesura del progetto della centrale termica	☐ _____	Progettista
2. Domanda in carta bollata;	☐ _____	Progettista
Richiedente _____ (Progettista, installatore o Utente)		
Modulo RD (denuncia) 2 copie	☐ _____	Progettista
Moduli RR - RR/1 (relazione) 2 copie	☐ _____	Progettista
Firma installatore	☐ _____	installatore
3. Invio al Dipartimento I.S.P.E.S.L. (raccomandata A.R.)	☐ _____	Progettista
4. Risposta I.S.P.E.S.L. al Richiedente (Progettista o installatore o Utente) con allegato bollettino di versamento	☐ _____	I.S.P.E.S.L.
5. Versamento bollettino £ _____	☐ _____	Utente
6. Spedizione dell'originale dell'attestazione di versamento al Dipartimento I.S.P.E.S.L. (raccomandata A.R.)	☐ _____	Progettista o Utente
7. Risposta esito esame del progetto al Richiedente (Progettista o installatore o Utente)	☐ _____	I.S.P.E.S.L.
Esito: ☐ positivo ☐ negativo		
Motivi dell'esito negativo: _____		
8. Esecuzione lavori	Inizio ☐ _____ Termine ☐ _____	installatore installatore
9. Raccolta delle dichiarazioni dell'installatore e delle certificazioni di caldaie e dispositivi di sicurezza e di protezione, ai sensi del Cap. R.4.A. o R.4.B., secondo i modelli predisposti	☐ _____	Dir. Lavori

		Data	Esecut ore
0.	Verifica a cura del direttore dei lavori della corretta esecuzione e della documentazione fornita, di cui al punto 9, ai sensi del capitolo R.4.A o R.4.B.	☐ _____	Dir.
1.	Domanda di omologazione dell'impianto in carta bollata a nome del Richiedente _____	☐ _____	Lavori
	Allegare copie del Libretto degli eventuali vasi di espansione chiusi di capacità > 25 dm ³		Dir.
	Risposta I.S.P.E.S.L. al Richiedente (Dir. Lavori o installatore o Utente) con allegato bollettino di versamento	☐ _____	Lavori o Utente o installatore
2.	Versamento bollettino £ _____	☐ _____	I.S.P.E.
3.	Spedizione dell'originale dell'attestazione di versamento al Dipartimento I.S.P.E.S.L. (raccomandata A.R.)	☐ _____	S.L.
4.	Visita di verifica a cura del tecnico I.S.P.E.S.L. Alla visita è opportuno siano presenti l'installatore, l'Utente e il Direttore Lavori. All'atto della visita bisogna consegnare al tecnico I.S.P.E.S.L. la documentazione di cui al punto 9	☐ _____	Dir.
5.	Esito: ☐ positivo ☐ negativo		Lavori o Utente
	Motivi dell'esito negativo: _____		I.S.P.E.
6.	Rilascio del certificato di omologazione (libretto matricolare)	☐ _____	S.L.
7.	Domanda in carta semplice per la verifica periodica. (Da presentare, per conto dell'utente, a cura del Direttore Lavori subito dopo il rilascio del certificato di omologazione).	☐ _____	I.S.P.E.S.L.
8.	Controlli periodici - ogni 5 anni a cura dell'A.S.L.		Dir.
18.1	Controllo A.S.L.	Data	Lavori
	Esito: ☐ positivo ☐ negativo	_____	A.S.L.
	Motivi dell'esito negativo: _____		
18.2	Controllo A.S.L.	Data	
	Esito: ☐ positivo ☐ negativo	_____	A.S.L.
	Motivi dell'esito negativo: _____		
18.3	Controllo A.S.L.	Data	
	Esito: ☐ positivo ☐ negativo	_____	A.S.L.
	Motivi dell'esito negativo: _____		



Spett.le
I.S.P.E.S.L.

Dipartimento di _____

_____ via

_____ c.a.p.

_____ città

OGGETTO: Richiesta di Verifica Omologativa di nuovo impianto ai sensi dell'Art. 22 D.M. 01.12.75 e del Decreto interministeriale 22.07.86.

Utente _____ Via _____

Comune _____ (Prov _____)

Il sottoscritto _____
_____ *cognome* _____ *nome*

con sede in _____
_____ *città* _____ *prov.* _____ *Via*

nella sua qualità di _____

chiede

LA VERIFICA OMOLOGATIVA SUL LUOGO DELL'IMPIANTO.

Impianto di riscaldamento ad acqua calda, n° di pratica: _____

Potenzialità del focolare espressa in kW: _____

Eventuali vasi di espansione chiusi di capacità superiore a 25 dm³ :

Si allega fotocopia del frontespizio del libretto matricolare dei vasi di espansione sopra elencati (n _____ fotocopie).

Persona da contattare per concordare il collaudo: _____

Nominativo _____

N° telefonico _____

Data, _____

_____ Timbro e firma

D.M. 01.12.1975

Generatori di calore per impianti di riscaldamento ad acqua calda sotto pressione con temperatura non superiore a quella di ebollizione a pressione atmosferica.

RACCOLTA "R"

**DOCUMENTAZIONE DA CONSEGNARE AL TECNICO I.S.P.E.S.L.
ALL'ATTO DELLA VISITA DI VERIFICA OMOLOGATIVA
DELL'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO**

"A"

Dichiarazioni del tecnico qualificato

"B"

Certificazioni

CAPITOLO R.4.B. - Punto 2.1

VASO CHIUSO

UTENTE:	Edificio	_____	
	Indirizzo	_____	
	N° pratica	_____	
	Caldaia	_____	
	Potenza focolare	_____	kW
	Combustibile	_____	
	Vaso chiuso	_____	

"A" Dichiarazioni del tecnico qualificato (installatore responsabile):

Il sottoscritto:

Nome _____ Cognome _____

Indirizzo _____

ai sensi del Capitolo R.4.B, punto 2.1.C.

dichiara che:

- 1) la capacità dell'impianto e quella dei vasi d'espansione sono quelle dichiarate nel progetto approvato;
- 2) gli scarichi dei dispositivi di sicurezza possono avvenire senza recare danno a persone;
- 3) i complessi d'interruzione dell'apporto di calore per regolazione e per blocco sono funzionalmente indipendenti fra loro;
- 4) gli elementi sensibili dei termostati di regolazione e di blocco, qualora installati sulla tubazione di uscita del generatore di calore, sono posizionati in modo che la temperatura nei generatori non superi i limiti stabiliti dalla normativa;
- 5) (dichiarazione attestante, qualora non siano state installate valvole di scarico termico o valvole d'intercettazione del combustibile, che esiste nell'impianto la correlazione fra aumento della pressione e corrispondente aumento della temperatura);

NOTA: cancellare la voce che non interessa.

- 5.1) non esiste la correlazione fra aumento di pressione e corrispondente aumento della temperatura;
è pertanto installata la valvola di intercettazione del combustibile (oppure la valvola di scarico termico);

oppure:

5.2) *esiste la correlazione fra aumento di pressione e corrispondente aumento della temperatura.*

In tal caso i circuiti intercettabili hanno le seguenti capacità:

CIRCUITO	DENOMINAZIONE	CAPACITÀ (dm ³)
1		
2		
3		
4		
5		

6) I pressostati ed i termostati di regolazione e di blocco sono indipendenti negli organi di comando e di controllo.

Data, _____

Firma

"B" Certificazioni - Vaso chiuso

Si allegano le seguenti certificazioni, corrispondenti alle caselle barrate:

☐ 1) certificazione rilasciata dal costruttore attestante il buon esito della prova idraulica del generatore;

quantità n° _____

☐ 2) certificazione di taratura al banco da parte dell'A.N.C.C. (ora I.S.P.E.S.L.) delle valvole di sicurezza;

quantità n° _____

☐ 3) certificazione di taratura al banco da parte dell'A.N.C.C. (ora I.S.P.E.S.L.) delle valvole di intercettazione del combustibile;

quantità n° _____

☐ 4) certificazione di taratura al banco da parte dell'A.N.C.C. (ora I.S.P.E.S.L.) delle valvole di scarico termico;

quantità n° _____

19. ☐ 5) certificazione di qualifica dei dispositivi di protezione, a meno che gli stessi non siano contraddistinti con il marchio del fabbricante e gli estremi della qualificazione ottenuta;

☐ 5.1) interruttore termico automatico di regolazione; quantità n° _____

☐ 5.2) interruttore termico automatico di blocco; quantità n° _____

☐ 5.3) pressostato di blocco; quantità n° _____

20. ☐ 6) libretto matricolare dei vasi di espansione chiusi collaudati I.S.P.E.S.L., con riportata certificazione rilasciata dal costruttore attestante il buon esito della prova idraulica;

quantità n° _____

☐ 7) fotocopia patentino di abilitazione alla conduzione degli impianti termici con potenzialità superiore a 232 kW (solo se a combustibile liquido).

12.3 ESEMPIO DI DENUNCIA ISPESL

Si riporta un esempio di denuncia completa ISPESL di un progetto fittizio.

MARCA DA BOLLO

Spett.le
I.S.P.E.S.L.
DIPARTIMENTO DI MILANO

Via xxxxxxxxxxi, 3

via

xxxxx

Milano

cap.

città

Oggetto: DENUNCIA DI IMPIANTO TERMICO AD ACQUA CALDA AI SENSI DELL'ART. 18
D.M. 01/12/1975

UTENTE Condominio Primula Rossa

INDIRIZZO Via Balzac 12

COMUNE BRUGHERIO (PROV. MI)

Il sottoscritto XYXYXYX Andrea
cognome nome

con sede in Milano MI Via Franco Franchi 18
città prov. Indirizzo

nella sua qualità di legale rappresentante della ditta installatrice Termica XYXYXY

C H I E D E

l'esame del progetto relativo all'impianto di riscaldamento installato in _____
Via Balzac 12 Milano

di cui si allega la documentazione in duplice copia.

Data, 28/09/1999

(Timbro e Firma)

Allegati (in duplice copia):

- Mod. RD.
- Mod. RR - RR/1.
- Schema di progetto.
- Dati complementari (Appendice VI - Art. 8)

AII. URP 3.2-1

**D.M. 01.12.1975
I.S.P.E.S.L. - RACCOLTA 'R'**

**GENERATORE DI CALORE PER IMPIANTI DI RISCALDAMENTO AD
ACQUA CALDA SOTTO PRESSIONE CON TEMPERATURA NON
SUPERIORE A QUELLA DI EBOLLIZIONE A PRESSIONE ATMOSFERICA**

- Mod RD - Denuncia di impianto centrale di riscaldamento ad acqua calda.
- Mod RR - RR/1 - Relazione tecnica per impianto centrale di riscaldamento ad acqua calda.
- Schema di progetto e dati complementari - Raccolta 'R' (Appendice VI - Art. 8)

UTENTE	Condominio Primula Rossa
Indirizzo	Via Balzac 12
Comune	BRUGHERIO (MI)

INSTALLATORE	Termica XYXYXYX
Indirizzo	Via Franco Franchi 18
Comune	Milano (MI)

Data, 28/09/1999

Nome e Cognome del Progettista

Indirizzo del Progettista



Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro

(Legge 23/12/1978, n. 833; Legge 12/8/1982, n. 597)

Dipartimento Periferico di MILANO

Legge 16 giugno 1927, n. 1132

(Regolamento RD 12/5/1927, n. 824 - DM 1/12/1975)

Denuncia di impianto centrale di riscaldamento ad acqua calda

ISPESL

SEZIONE I.S.P.E.S.L. - DIPARTIMENTO DI MILANO

Via Balzac 12 indirizzo di installazione dell'impianto	
COMUNE <u>Milano</u>	PROVINCIA <u>MI</u> CAP <u>2</u> <u>0</u> <u>0</u> <u>1</u> <u>0</u>
Condominio Primula Rossa nome o ragione sociale	
Via Balzac 12 indirizzo	
COMUNE <u>Milano</u>	PROVINCIA <u>MI</u> CAP <u>2</u> <u>0</u> <u>0</u> <u>1</u> <u>0</u>
Termica i nome o ragione sociale	
Via Franco Franchi 18 indirizzo per invio corrispondenza	
COMUNE <u>Milano</u>	PROVINCIA <u>MI</u> CAP <u>2</u> <u>0</u> <u>0</u> <u>1</u> <u>6</u>
POTENZIALITA' GLOBALE(*) _____ kW <u>2</u> <u>7</u> <u>6</u> , <u>4</u>	
☒ NUOVA ☐ ESISTE ☐ DA MODIFICARE Estremi impianto da modificare (R) 	
DESTINAZIONE: ☒ RISCALDAMENTO AMBIENTI ☐ PRODUZIONE ACQUA CALDA PER SERVIZI	
Cognome <u>XYXYXYXi</u> Nome <u>Andrea</u>	
Recapito: COMUNE <u>Milano</u> PROVINCIA <u>MI</u>	
Indirizzo: <u>Via Franco Franchi 18</u>	
Nella mia qualità di legale rappresentante della ditta installatrice <u>Termica XYXYXY</u>	
dichiaro che gli elementi forniti corrispondono alla realtà.	
Data: <u>2</u> <u>8</u> <u>0</u> <u>9</u> <u>1</u> <u>9</u> <u>9</u> <u>9</u>	Firma _____

(*) Per potenzialità si intende quella del focolare (cioè quella del bruciatore). Nel caso di impianti con più di un generatore la potenzialità è la somma delle potenzialità dei vari generatori.

N. della pratica (R)

Sigla
Matricola

All. URP 3.2-2

Mod. RR

I.S.P.E.S.L.
ISTITUTO SUPERIORE PER LA PREVENZIONE E LA SICUREZZA DEL LAVORO
Relazione tecnica per impianto centrale di riscaldamento ad acqua calda

Mod. RR/1

DATI TECNICI DELL'IMPIANTO(R)

con riferimento al generatore n. ordine

1

(Barrare solo le caselle interessate)

Contenuto di acqua dell'impianto 2986

: litri

VASO DI ESPANSIONE APERTO		VASO DI ESPANSIONE CHIUSO					
Capacità totale :	_____ litri	Capacità totale:	250 _____ litri				
Dislivello vaso/generatore	_____ m	Dislivello generatore/sommità impianto	14 _____ m				
		Dislivello vaso/valvola di sicurezza	+1,0 _____ m				
Tubo di sfogo	diametro interno _____ mm protezione dal gelo <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td><td>NO</td></tr></table>	SI	NO	Tipo: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td> </td></tr></table> autopressurizzato <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>X</td></tr></table> a diaframma <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td> </td></tr></table> pre-perssurizzato		X	
SI	NO						
X							
	diametro interno _____ mm scarico visibile <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td><td>NO</td></tr></table>	SI	NO	Potenzialità nominale globale dei generatori serviti:			
SI	NO						
Tubi di troppo pieno	protezione dal gelo <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td><td>NO</td></tr></table> protezione dal gelo <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td><td>NO</td></tr></table>	SI	NO	SI	NO	248,8 _____ kW ripartita su n. 1 _____ circuiti	
SI	NO						
SI	NO						
		Pressione iniziale pi _____ 1,82 _____ bar					
		Pressione di targa _____ 6 _____ bar					
		Diametro interno tubo di collegamento _____ 21,7 _____ mm					
TUBAZIONE DI SICUREZZA: protezione dal gelo	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td><td>NO</td></tr></table>	SI	NO	VALVOLE DI SICUREZZA (n. 1 _____)			
SI	NO						
Potenzialità nominale resa all'acqua dei generatori serviti _____ kW		Tipo : <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td> </td></tr></table> ordinaria <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td> </td></tr></table> ad alzata controllata <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>X</td></tr></table> qualificata			X		
X							
Diametro interno minimo _____ mm		Diametro interno orifizio _____ 20 _____ mm					
Lunghezza effettiva _____ m		Pressione di taratura _____ 4 _____ bar					
Lunghezza virtuale _____ m		Sovrapressione _____ 10 _____ %					
		Portata di scarico di vapore _____ 533,6 _____ kg/h					
VALVOLA A TRE VIE DI INTERCETTAZIONE DEL GENERATORE		VALVOLA DI SCARICO TERMICO					
Diametro della valvola _____ mm		Portata di scarico di acqua _____ kg/h					
diametro interno _____ mm		Esiste blocco del flusso di combustibile? <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td></tr></table> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>NO</td></tr></table>	SI	NO			
SI							
NO							
Tubo di sfogo lunghezza effettiva _____ m		Il reintegro è con il seguente sistema : _____					
lunghezza virtuale _____ m							
DISPOSITIVI DI CONTROLLO							
Manometro, graduato in _____ bar _____ fino a 6 _____ con attacco per il controllo.							
Termometro, graduato fino a _____ 120 _____ °C con pozzetto per il controllo.							
DISPOSITIVI DI PROTEZIONE							
Esiste l'interruttore termico automatico di regolazione ?	x <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td></tr></table> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>NO</td></tr></table>	SI	NO				
SI							
NO							
Esiste l'interruttore termico automatico di blocco ?	x <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td></tr></table> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>NO</td></tr></table>	SI	NO	Ne esiste un secondo ?	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td></tr></table> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>NO</td></tr></table> x	SI	NO
SI							
NO							
SI							
NO							
Esiste il pressostato di blocco ?	x <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td></tr></table> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>NO</td></tr></table>	SI	NO				
SI							
NO							
Esiste il flussostato ?	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td></tr></table> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>NO</td></tr></table> x	SI	NO				
SI							
NO							
DISPOSITIVI E SISTEMI SPECIALI PER IMPIANTI ALIMENTATI A COMBUSTIBILE SOLIDO							
Esiste il dispositivo di allarme acustico ?	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td></tr></table>	SI	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>NO</td></tr></table>	NO			
SI							
NO							
Esiste il dispositivo di arresto automatico dell'aria comburente ?	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td></tr></table>	SI	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>NO</td></tr></table>	NO			
SI							
NO							
L'impianto è a circolazione naturale, senza organi di intercettazione sul circuito dell'acqua ?	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td></tr></table>	SI	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>NO</td></tr></table>	NO			
SI							
NO							
Il generatore è corredato di:	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td> </td></tr></table> riscaldatore d'acqua di consumo						
	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td> </td></tr></table> scambiatore di calore di emergenza						
Il riscaldatore (o lo scambiatore) è munito di scarico di sicurezza termico ?	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td></tr></table>	SI	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>NO</td></tr></table>	NO			
SI							
NO							
Il generatore è corredato di focolare meccanico, con adduzione meccanica dell'aria comburente ?	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>SI</td></tr></table>	SI	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>NO</td></tr></table>	NO			
SI							
NO							

IL TECNICO

D.M. 01.12.1975	
I.S.P.E.S.L. - RACCOLTA 'R'	
GENERATORE DI CALORE PER IMPIANTI DI RISCALDAMENTO AD ACQUA CALDA	
UTENTE	Condominio Primula Rossa
Indirizzo	Via Balzac 12
Comune	Milano (MI)
INSTALLATORE	Termica XYXYXY
Indirizzo	Via Franco Franchi 18
Comune	Milano (MI)
SCHEMA DI PROGETTO E DATI COMPLEMENTARI	

COMMENTO

- 1- ELENCO DEI COMPONENTI INDICATI SULLA TAVOLA GRAFICA CON LA DESCRIZIONE DELLE LORO CARATTERISTICHE
- 2- COMMENTO AI DATI INDICATI SULLA TAVOLA GRAFICA ED INDICAZIONI DI PROGETTO
- 3- DATI COMPLEMENTARI - RACCOLTA 'R' (Appendice VI - Art. 8)
- 4- TAVOLA GRAFICA N° 1234/99

Data 28/09/1999

Nome e Cognome del Progettista
Indirizzo del Progettista)

1- ELENCO DEI COMPONENTI INDICATI SULLA TAVOLA GRAFICA CON LA DESCRIZIONE DELLE LORO CARATTERISTICHE

1 Bruciatore
Bruciatore

Costruttore		Talisman	
Tipo		MP3	
Combustibile		Metano	
Potenza nominale	(Qb)	248,8	kW


2 Caldaia
Caldaia

Costruttore		Similar	
Tipo		2R 14	
Potenza termica utile	(Qu)	248,8	kW
Potenza termica al focolare	(Qf)	276,4	kW
Pressione massima di esercizio	(Peg)	5	bar


3 Valvola di sicurezza
Valvola di sicurezza

Costruttore		Caleffi	
Tipo		527540	
Qualifica		QUALIFICATA	
Diametro nominale	(Dv)	3/4"	
Diametro orifizio	(Do)	20	mm
Coefficiente di efflusso	(K)	,67	
Portata di scarico vapore	(W)	533,6	kg/h
Potenza termica scaricabile	(Qt)	309,5	kW
Numeri di valvole	(Ns)	1	
Potenza termica scaricabile totale	(Qtv)	309,5	kW
Pressione di taratura	(Pt)	4	bar
Sovrapressione	(Sp)	10	%
Pressione di scarico	(Psc)	4,4	bar


4 Vaso di espansione a diaframma
Vaso di espansione a diaframma

Circuito		Unico	
Contenuto d'acqua dell'impianto	(C)	2986	litri
Pressione assoluta iniziale precarica	(Pi ass)	2,83	bar
Pressione finale assoluta	(Pf ass)	5,13	bar
Pressione massima esercizio (relativa)	(Pev)	6	bar
Capacità del vaso (proposta)	(Cv prop)	240	litri
Volume d'espansione	(Ve)	107	litri
Capacità del vaso (adottata)	(Cv ad)	250	litri
Correlazione tra aumento t e p		ASSENTE	


5 Interruttore termico automatico di regolazione

Interruttore termico automatico di regolazione di tipo omologato tarato ad una temperatura non superiore a 95 °C.

Costruttore
Tipo

in caldaia



6 Interruttore termico automatico di blocco

Interruttore termico automatico di blocco a riarmo manuale di tipo omologato tarato ad una temperatura non superiore a 100 °C.

Costruttore
Tipo

in caldaia



7 Pressostato di blocco

Pressostato di blocco a riarmo manuale di tipo omologato.

Costruttore
Tipo

Caleffi
SQ-D

Pressione di taratura pressostato

Ppr

3,80

bar



8 Indicatore di temperatura

Indicatore di temperatura con scala graduata in °C e fondo scala di 120 °C.

Costruttore
Tipo

Caleffi
F 15



9 Pozzetto

Pozzetto per inserzione termometro di controllo con diametro interno non inferiore a 10 mm.

Costruttore
Tipo

-

-



10 Valvola di intercettazione del combustibile

Valvola di intercettazione del combustibile ad azione positiva non azionata da energia esterna, omologata.

Costruttore
Tipo
Diametro nominale

Caleffi
54108
1" 1/2

IMPIANTO A VASO CHIUSO

DATI INDICATI SULLA TAVOLA GRAFICA.

Sono indicati sulla tavola grafica allegata:

- a) Diametro nominale delle tubazioni in pollici.
- b) Diametro interno (in mm) delle tubazioni di espansione, di ingresso alla valvola di sicurezza e di scarico della valvola di sicurezza.
- c) Altezza idrostatica H_i .
- d) Altezza dello sbocco della valvola di sicurezza.
- e) Altezza dell'attacco del vaso di espansione.
- f) Posizione dei dispositivi di protezione ed i limiti di distanza dall'uscita della caldaia (ove richiesto).
- g) Raggi di curvatura "R" del tubo di collegamento del vaso di espansione.

TUBAZIONE DI COLLEGAMENTO TRA IL GENERATORE ED IL VASO DI ESPANSIONE.

La tubazione di collegamento tra generatore e vaso di espansione deve essere protetta dal gelo, deve essere realizzata in modo da non presentare punti di accumulo di incrostazioni o depositi e deve avere curve con raggio di curvatura "R" non inferiore a 1,5 volte il diametro interno.

21. PRESCRIZIONI PER IL POSIZIONAMENTO DEI DISPOSITIVI DI SICUREZZA, PROTEZIONE E CONTROLLO.

La tabella seguente descrive le prescrizioni per il posizionamento dei dispositivi di sicurezza, protezione e controllo (riguarda le distanze dal generatore e le tubazioni di installazione).

COMPONENTI	TIPO	COMPONENTE INSTALLATO SUL GENERATORE DI CALORE O SULLA TUBAZIONE AD UNA DISTANZA MASSIMA DALLA CALDAIA DI:	INSTALLAZIONE PRIMA DI QUALSIASI VALVOLA DI INTERCETTAZIONE E TUBAZIONE DI INSTALLAZIONE	RIFERIMENTO RACCOLTA RISPESL ED. 1982
VALVOLA DI SICUREZZA	SICUREZZA	1,0 m	SI - MANDATA	R.3.B. 2.4.
VALVOLA INTERCETTAZIONE COMBUSTIBILE	SICUREZZA	0,5 m	SI - MANDATA	R.2.A. 4.2.
TERMOSTATO DI REGOLAZIONE	PROTEZIONE	0,5 m	SI - MANDATA	R.2.B. 1.8.
TERMOSTATO DI BLOCCO	PROTEZIONE	0,5 m	SI - MANDATA	R.2.B. 1.8.
PRESSOSTATO DI BLOCCO	PROTEZIONE	(-)	SI - MANDATA	R.2.B. 1.8.
TERMOMETRO	CONTROLLO	(-)	SI - MANDATA	R.2.C. 3.4.
POZZETTO PER TERMOMETRO CAMPIONE	CONTROLLO	(-)	SI - MANDATA	R.2.C. 3.4.
MANOMETRO CON FLANGIA	CONTROLLO	(-)	SI - MANDATA O RITORNO	R.2.C. 2.5.
VASO DI ESPANSIONE		(-)	SI - MANDATA O RITORNO	R.3.B. 3.5.
(VALVOLA DI SCARICO TERMICO)	SICUREZZA	0,5 m	SI - MANDATA	R.2.A. 3.3.
(FLUSSOSTATO)		(-)	NO	R.3.B. 5.4.

(-) non è prevista una distanza massima.

COLLEGAMENTI ELETTRICI.

L'installatore idraulico dovrà richiedere all'installatore elettricista che siano rispettate le prescrizioni di seguito elencate.

- I termostati devono essere indipendenti negli organi di comando e di controllo.
- Nel caso di bruciatori monofase è ammesso il collegamento in serie dei termostati di regolazione, di blocco e del pressostato di blocco purché detti dispositivi interrompano direttamente il circuito elettrico di alimentazione (senza fare uso di contattori intermedi).
- Nel caso di bruciatori atmosferici i termostati di regolazione e di blocco devono agire su due distinte elettrovalvole di intercettazione del gas (che possono essere riunite in un unico corpo multifunzionale).
- Nel caso di bruciatori trifase il termostato di regolazione deve agire su un contactore, mentre il termostato di blocco e il pressostato di blocco devono agire su un secondo contactore. Entrambi i contattori devono interrompere direttamente il circuito elettrico di alimentazione.

DOCUMENTI DA CONSERVARE E DA CONSEGNARE PER LA VISITA DI VERIFICA OMOLOGATIVA.

E' onere dell'installatore raccogliere, conservare e consegnare all'utente (con documento di ricevuta) i seguenti documenti:

COMPONENTE	DOCUMENTO DA CONSERVARE
CALDAIA	CERTIFICATO DEL COSTRUTTORE: PROVA IDRAULICA
VALVOLA INTERCETTAZIONE COMBUSTIBILE	CERTIFICATO DI TARATURA A BANCO CERTIFICATO DI TARATURA A BANCO
VALVOLA DI SICUREZZA	
VASI DI ESPANSIONE OLTRE 24 LITRI	LIBRETTO MATRICOLARE
TERMOSTATO DI REGOLAZIONE	CERTIFICATO DI RISPONDERENZA PROTOTIPO
TERMOSTATO DI BLOCCO	CERTIFICATO DI RISPONDERENZA PROTOTIPO
PRESSOSTATO DI BLOCCO	CERTIFICATO DI RISPONDERENZA PROTOTIPO

Inoltre l'installatore dovrà rilasciare, dopo la fine lavori, la dichiarazione di tecnico qualificato secondo le disposizioni ISPESL.

NOTA: Per tutti i componenti di nuova installazione conservare il certificato di omologazione e riporlo nell'apposita cassetta porta documenti, in quanto da presentare al funzionario ISPESL in sede di collaudo.
In caso di smarrimento del certificato il componente dovrà essere sostituito.

ISOLAMENTO TERMICO DELLE TUBAZIONI.

L'isolamento termico delle tubazioni corrisponderà alle indicazioni della legge n. 10/91 e del DPR 412/93. Per tubazioni correnti in centrale termica gli spessori saranno il 100% dell'Allegato B - DPR 412, pari a:

CONDUTTIVITÀ (W/m°C)	DIAMETRO ESTERNO DELLA TUBAZIONE (mm)					
	< 20	da 20 a 39	da 40 a 59	da 60 a 79	da 80 a 99	>100
0.030	13	19	26	33	37	40
0.032	14	21	29	36	40	44
0.034	15	23	31	39	44	48
0.036	17	25	34	43	47	52
0.038	18	28	37	46	51	56
0.040	20	30	40	50	55	60
0.042	22	32	43	54	59	64
0.044	24	35	46	58	63	69
0.046	26	38	50	62	68	74
0.048	28	41	54	66	72	79
0.050	30	44	58	71	77	84

Nella tavola grafica la scritta IS ____ indica lo spessore (in mm) dell'isolante, avente una conduttività di prova a 50°C (lambda) non superiore a 0,041 W/m°C.

22. RIFERIMENTI NORMATIVI PER LE PRESCRIZIONI DI SICUREZZA, ANTINCENDIO, RISPARMIO ENERGETICO ED IMPIANTI ELETTRICI.

Il locale focolari, l'impianto di alimentazione del combustibile, l'aerazione, gli apparecchi ed i bruciatori, i canali di fumo, i camini, l'impianto elettrico e le strutture edili devono essere conformi alle vigenti disposizioni di legge:

a) per impianti elettrici:

- Legge n. 186/68
- Norma CEI 64-8
- Norma CEI 64-2

b) per combustibili liquidi (norme antincendio):

- Legge n. 615/66
 - DPR 22.12.1970 n. 1391
- Circolare del Ministero dell'Interno n. 73 del 29.07.1971

c) per combustibili gassosi (norme antincendio):

- D.M. 12.04.1996
 - Legge n. 1083/71
- Norme UNI - CIG
- D.M. 24.11.1984

d) per la sicurezza:

- Legge n. 46/90
- DPR n. 547/55
- DLgs n. 626/94

e) per il risparmio energetico:

- Legge n. 10/91
- DPR n. 412/93
- D.M. 13.12.1993

Alla fine dei lavori l'installatore dovrà rilasciare la dichiarazione di conformità ai sensi della legge n. 46/90, completa degli allegati obbligatori in 3 copie (n.1 per l'utente, n.1 per il Comune e n.1 per la Camera di Commercio).

3 - DATI COMPLEMENTARI - RACCOLTA “R” (Appendice VI - Art. 8)**IMPIANTO A VASO CHIUSO**

- a) Nell'impianto è prevista sia la valvola di sicurezza sia la valvola di intercettazione combustibile in quanto non esiste correlazione tra l'aumento di temperatura e l'aumento di pressione.
- b) In luogo della valvola di scarico termico si è impiegata la valvola di intercettazione del combustibile.
- c) La pressione di precarica del vaso è di: 1,82 bar
- d) Non è prevista l'interruzione di apporto del calore all'atto dell'arresto della circolazione.
- e) Lo scarico delle valvole di sicurezza, delle eventuali valvole di scarico termico e delle eventuali valvole di intercettazione a tre vie risulta ubicato in modo da non recare danni alle persone o alle cose in caso di intervento.
- f) La distanza degli organi di sicurezza, di protezione e di controllo dall'uscita dal generatore non è maggiore dei valori previsti, come indicato nella tabella precedentemente riportata.
- g) E' attuata l'indipendenza dei dispositivi di protezione mediante almeno due circuiti separati, salvo il caso in cui operino su un bruciatore azionato da un motore monofase.
- h) La pressione di esercizio dichiarata dal costruttore del generatore è tale da assicurare la sua stabilità anche alla temperatura massima di intervento degli organi di sicurezza.
- i) La valvola di intercettazione a tre vie, se esistente sull'impianto, non presenta posizioni di manovra in cui risultino contemporaneamente intercettate entrambe le vie di uscita, oppure in cui una delle due vie sia completamente chiusa e l'altra aperta solo parzialmente.

12.3.1 ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO DI COMPONENTI ISPEL

Dimensionamento vaso di espansione chiuso				
Edificio	Condominio Primula Rossa Via Balzac 12 - BRUGHERIO (MI)			
Committente	AMMINISTRATORE Rag. PIGA Augusto Via xxxxxx 14 - VIMERCATE (MI)			
Impianto	Centrale termica condominiale ad uso riscaldamento			
Progettista	EDILCLIMA S.r.l. - Progettazione Impianti - Tel. 0322/835816 Via Torrione, 30 - 28021 BORGOMANERO (NO)			
Generatore n°	1			
Marca e modello	Similar	2R 14		
Potenza termica al focolare	Qf	276,4		kW
Potenza termica utile	Qu	248,8		kW
Pressione di esercizio	Peg	5,00		bar
Circuito				
Pressione atmosferica	Pa	1,01		bar
Contenuto d'acqua totale del circuito	C	2986		litri
Coefficiente di dilatazione globale	e	0,036		dm³/dm³
Altezza idrostatica dell'impianto	Hi	14,0		m
Aumento pressione di precarica del vaso	Pr	0,50		bar
Altezza della valvola di sicurezza	Hvs	1,5		m
Altezza del vaso di espansione	Hve	0,5		m
Valvola di sicurezza				
Marca e modello		Caleffi 527540		
Pressione di taratura	Pt	4,00		bar
Sovrapressione	Sp	10		%
Diametro	Dv	20		mm
Risultati				
Numero di vasi	Nv	1		
Capacità totale	Cv	250		litri
Pressione massima di esercizio del vaso	Pev	6,00		bar
Diametro del tubo di collegamento	Dt	21,7		mm
Raggio di curvatura	Rt ≥	33		mm
Vasi scelti				
	Marca	Modello	Capacità (litri)	Pressione (bar)
	Caleffi	556250	250	6,00

Dimensionamento valvola di sicurezza									
Edificio	Condominio Primula Rossa Via Balzac 12 - BRUGHERIO (MI)								
Committente	AMMINISTRATORE Rag. PIGA Augusto Via xxxxxx 14 - VIMERCATE (MI)								
Impianto	Centrale termica condominiale ad uso riscaldamento								
Progettista	EDILCLIMA S.r.l. - Progettazione Impianti - Tel. 0322/835816 Via Torrione, 30 - 28021 BORGOMANERO (NO)								
Generatore n°	1								
Marca e modello				Similar		2R 14			
Potenza termica al focolare				Qf		276,4			kW
Potenza termica utile				Qu		248,8			kW
Pressione di esercizio				Peg		5,00			bar
Pressioni									
Pressione massima di esercizio del vaso				Pev		6,00			bar
Pressione di taratura pressostato				Ppr		3,80			bar
Differenza di pressione vaso-valvola per quota				dq		0,10			bar
Fondo scala manometro						6,00			bar
Valvola di sicurezza									
Marca						Caleffi			
Modello						527540			
Pressione di taratura				Pt		4,00			bar
Sovrapressione di apertura				Sp		10			%
Diametro valvola				Dv		3/4"			
Risultati									
Numero di valvole				Ns		1			
Potenza utile della valvola scelta				Qv		309,5			kW
Potenza totale delle valvole				Qtv		309,5			kW
Potenza minima da adottare				Qu		248,8			kW
Dati									
Sezione netta				A		3,1416			cm²
Coefficiente di efflusso				K		0,67			
Pressione di scarico				Psc		4,40			bar
Valore M (Racc. R - Cap. R.2.A. Punto 2)				M		0,710			
Diametro orifizio				Do		20			mm
Diametro della tubazione di uscita dalla valvola				Ø sc		1"			
Portata di scarico vapore				W		533,6			kg/h
Controlli									
Portata di scarico vapore	W	≥	Qu / 0.58	kg/h	533,6	≥	429,0		Si
Potenza termica scaricabile	Qtv	≥	Qu	kW	309,5	≥	248,8		Si
Sovrapressione di apertura	Sp Ap	≤	20 %		10	≤	20 %		Si
Scarto di chiusura	Sp Ch	≤	20 %		20	≤	20 %		Si
Pressione di esercizio del generatore	Peg	≥	Psc	bar	5,00	≥	4,40		Si
Pressione di esercizio del vaso tenuto conto del dislivello tra vaso e valvola	Pev	≥	Psc + dq	bar	6,00	≥	4,50		Si
Se Qu ≤ 580 kW									
	X		Ns ≥ 1						Si
Se Qu > 580 kW									
			Ns ≥ 2						

Rif.	Valvola di intercettazione del combustibile							
Dimensionamento valvola di intercettazione del combustibile								
Edificio	Condominio Primula Rossa Via Balzac 12 -Milano)							
Committente	AMMINISTRATORE Rag. UUUUU Augusto Via xxxxxxxt 14 - Milano (MI)							
Impianto	Centrale termica condominiale ad uso riscaldamento							
Progettista	Nome e Cognome del Progettista Indirizzo del Progettista)							
Generatore n°	1							
Marca e modello		Similar	2R 14					
Potenza termica al focolare		Qf	276,4	kW				
Potenza termica utile		Qu	248,8	kW				
Pressione di esercizio		Peg	5,00	bar				
Circuito								
Combustibile			Metano					
Moltiplicatore della portata		MP	1,0					
Potere calorifico inferiore			34,00	MJ/Stm³				
Portata		Gc	29,27	Stm³/h				
Dp ammissibile		Dpa	20	daPa				
Valvola intercettazione del combustibile								
Numero di valvole		Ni	1					
Marca			Caleffi					
Modello			54108					
Misura			1" 1/2					
Dp effettivo		Dpe	11	daPa				
Controlli								
Dp effettivo ≤ Dp ammissibile		Dpe ≤ Dpa	daPa	11	≤	20	Sì	

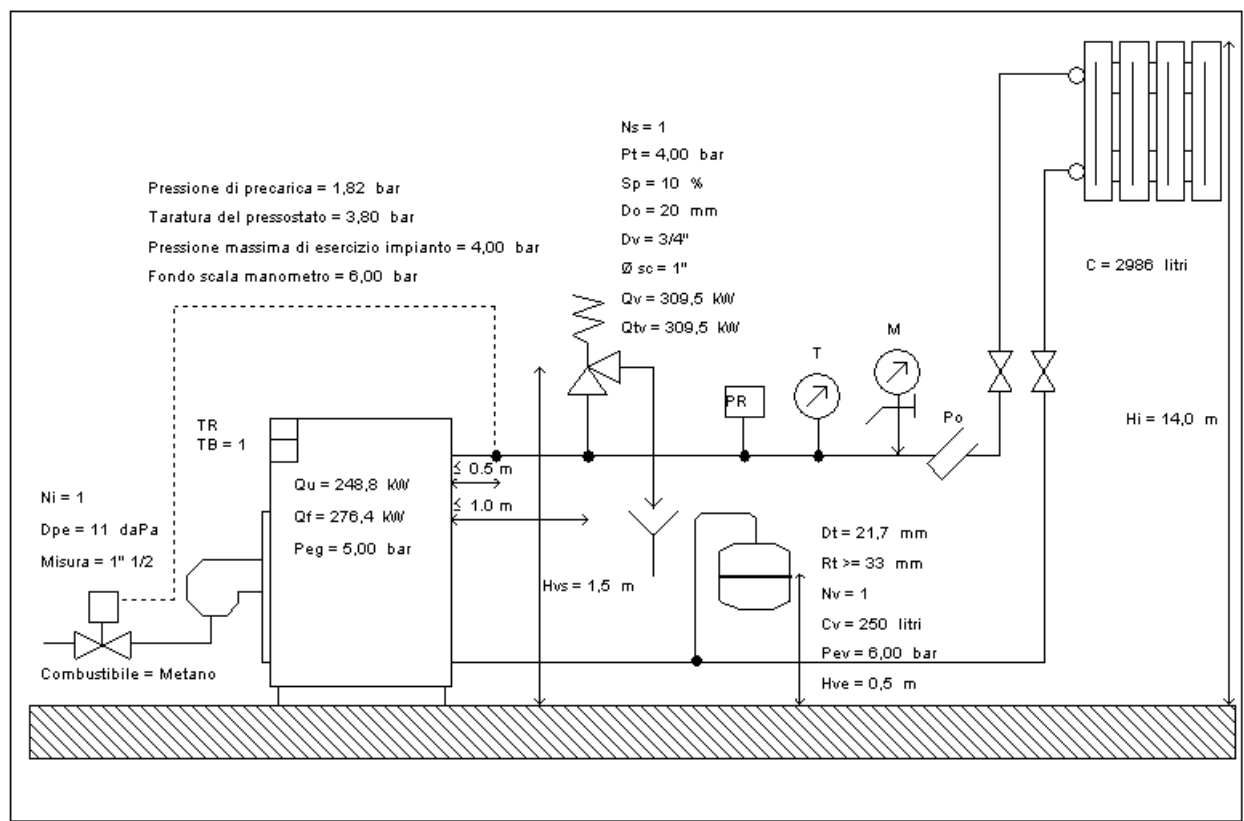
Rif.

Schema impianto a vaso chiuso

Dimensionamento dispositivi a vaso chiuso

Edificio	Condominio Primula Rossa
	Via Balzac 12 Milano (MI)
Committente	AMMINISTRATORE Rag. XXXX Augusto
	Via xxxxxx14 - Milano (MI)
Impianto	Centrale termica condominiale ad uso riscaldamento
Progettista	Nome e Cognome
	Indirizzo del Progettista

Generatore n°	1		
Marca e modello	Similar	2R 14	
Potenza termica al focolare	Qf	276,4	kW
Potenza termica utile	Qu	248,8	kW
Pressione di esercizio	Peg	5,00	bar

**LEGENDA**

C	Contenuto d'acqua totale del circuito	Po	Pozzetto per termometro campione
Cv	Capacità del vaso	PR	Pressostato
Dpe	Dp effettivo	Pt	Pressione di taratura
Dt	Diametro del tubo di collegamento	Qf	Potenza al focolare
Hi	Altezza idrostatica dell'impianto	Qtv	Potenza totale delle valvole di sicurezza
Hve	Altezza del vaso di espansione	Qu	Potenza utile del generatore
Hvs	Altezza della valvola di sicurezza	Qv	Potenza della valvola di sicurezza
M	Manometro	Rt	Raggio di curvatura
Ni	Numero di valvole di intercettazione del combustibile	Sp	Sovrapressione di chiusura
Ns	Numero di valvole di sicurezza	T	Termometro
Nv	Numero di vasi di espansione	TB	Termostato di blocco
Peg	Pressione di esercizio del generatore	TR	Termostato di regolazione
Pev	Pressione di esercizio del vaso		

12.3.2 USO DI CAD PER LA DICHIARAZIONE ISPESL

Per la preparazione della dichiarazione ISPESL è oggi possibile utilizzare CAD appositamente predisposti. Nel prosieguo si presenterà uno dei CAD commerciali disponibile per mostrare come questi funzionino.

In genere la prima fase è relativa alla preparazione dei dati generali che saranno poi inseriti nel Modello RD, vedi Figura 387.

Dati del progetto

Edificio: Condominio Primula Rossa
 Via Balzac 12 - BRUGHERIO (MI)

Committente: AMMINISTRATORE Rag. PIGA Augusto
 Via Rembrant 14 - VIMERCATE (MI)

Impianto: Centrale termica condominiale ad uso riscaldamento

n° tavola grafica: 1234/99

Dipartimento I.S.P.E.S.L.

Dipartimento di: MILANO
 Via: Via Mangiagalli, 3
 Città: Milano CAP: 20133

Copia/Incolla dati

Copia Incolla

Figura 387: Dati generali per la dichiarazione ISPESL

Successivamente si passa e predisporre i moduli previsti per la dichiarazione ISPESL, come indicato in Figura 388.

Indirizzo di installazione dell'impianto

Indirizzo: Via Balzac 12
 Comune: BRUGHERIO Prov: MI CAP: 20010

Dati anagrafici dell'utente

Nome o ragione sociale: Condominio Primula Rossa
 Indirizzo: Via Balzac 12
 Comune: BRUGHERIO Prov: MI CAP: 20010

Dati anagrafici dell'installatore

Nome o ragione sociale: Termica Baronchelli
 Indirizzo per invio corrispondenza: Via Franco Franchi 18
 Comune: AGRATE Prov: MI CAP: 20016

Copia/Incolla dati

Copia Incolla

Pagina 1/2

◀ Precedente ▶ Successivo

Figura 388: Dati per il Modulo RD

Successivamente si attiva la maschera per i dati del modulo RR, come illustrato in Figura 389.

Caratteristiche generali dell'impianto

Vaso di espansione: ☐ Aperto ☒ Chiuso

Anno di installazione dell'impianto: 1999

Caratteristiche dei generatori facenti parte dell'impianto

N°	Tipo	Costruttore	Num. fabbrica	Press. targa bar	Cod. comb.	Pot. focol. kW
1	G	Similar	2R 14	5,00	4	276,4
2				0,00	0	0,0
3				0,00	0	0,0
4				0,00	0	0,0
5				0,00	0	0,0

Potenzialità globale dell'impianto: 276,4

Destinazione locali riscaldati

☒ A Abitazioni permanenti	☐ H Impianto sportivo	☐ Q Scuola
☐ B Abitazioni per vacanza	☐ I Luogo di culto	☐ R Stabilimento industriale
☐ C Albergo	☐ L Mostra, museo	☐ S Studio, ufficio privato
☐ D Casa di cura	☐ M Negozio, magazzino	☐ T Ufficio pubblico
☐ E Casa di riposo	☐ N Ospedale	☐ U Cabina riduzione metano
☐ F Caserma	☐ O Pubblico spettacolo	☐ V
☐ G Collegio	☐ P Ristorante	☐ Z Altre non indicate

Figura 389: Dati per il Modulo RR

Si osserva che per i dati tecnici del generatore è possibile attivare una finestra di selezione da una banca dati solitamente fornita dalla Software House, come illustrato in Figura 391.

Dati del Generatore

N° d'ordine: 1

Costruttore: Similar

Numero fabbrica: 2R 14

Pressione di targa: 5 bar

Potenza utile: 248,8 kW

Potenza al focolare: 276,4 kW

Tipo generatore: G Ad elementi di ghisa

Codice combustibile: 4 Metano

Archivio generatori

Figura 390: Esempio di maschera di selezione dei dati del generatore

Generatori di calore

Generatori disponibili: **Thermital**

Modello	Pot.Focol. kW	Pot.Utile kW	Pressione bar	Tipo	Conten. litri	EC
ENNEGI 100	115	104	5	F	97	EC
ENNEGI 150	180	164	5	F	120	EC
ENNEGI 200	256	233	5	F	183	EC
ENNEGI 300	383	349	5	F	255	EC
ENNEGI 400	465	423	5	F	346	EC
ENNEGI 500	616	561	5	F	471	EC
ENNEGI 600	755	690	5	F	593	EC
NG 600	796,5	720,9	5	F	1350	EC
NG 700	889,5	814	5	F	1550	EC
NG 950	1110,5	1005,9	5	F	2000	EC

Figura 391: Esempio di dati per generatore

Si osservi nella zona inferiore della Figura 389 la possibilità di selezionare la destinazione d'uso dei locali riscaldati, come prescritto dalla normativa ISPESL. Inoltre si osservi nella stessa figura (seconda riga) l'indicazione di utilizzo di un vaso chiuso per il quale si può effettuare il dimensionamento mediante una maschera di input del tipo riportata in Figura 392.

Vaso di espansione Chiuso

Capacità totale dell'impianto: 2986 litri Capacità totale del vaso: 250 litri

Dislivello generatore/sommità impianto: 14 m

Dislivello vaso/valvola di sicurezza: 1 m

Tipo: ☐ autopressurizzato ☒ a diaframma ☐ pre-pressurizzato

Potenzialità nominale globale dei generatori serviti: 248,8 kW ripartita su n° 1 circuiti

Pressione iniziale p1: 1,82 bar Pressione di targa: 6 bar

Diametro interno tubo di collegamento: 21,7 mm

Valvola di sicurezza

Numero: 1

Tipo: ☐ ordinaria ☐ ad alzata controllata ☒ qualificata

Diametro interno orifizio: 20 mm Pressione di taratura: 4 bar

Sovrapressione: 10 % Portata di scarico vapore: 533,6 kg/h

Generatore

Numero	PRODUTTORE	kW	bar
< 1 >	Similar	248,8	5,00

Pagina 1/3

◀ Precedente ▶ Successivo

Figura 392: Dimensionamento del vaso chiuso, Modulo RR1

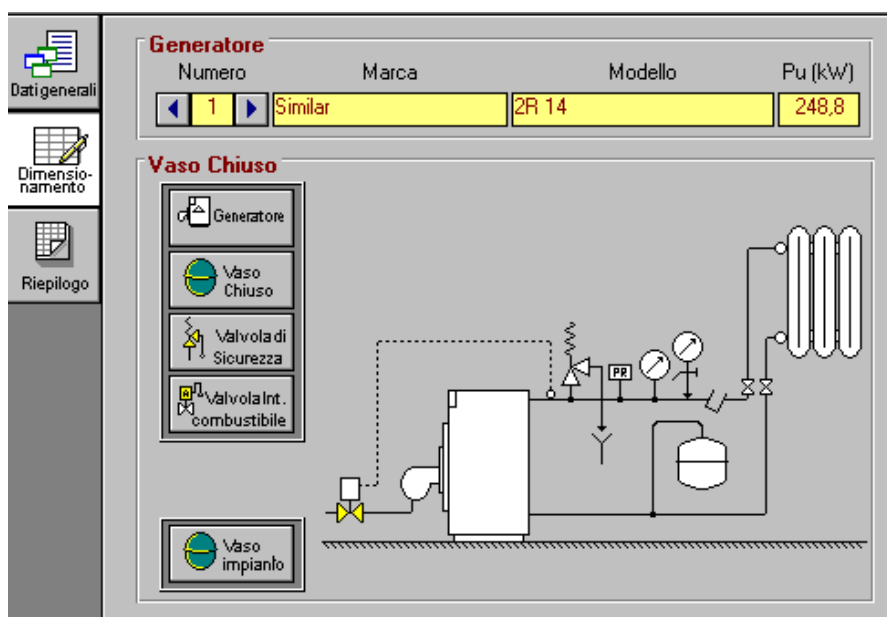


Figura 393: Esempio di software di selezione e progetto di componenti di sicurezza ISPESL

In questa figura si può osservare la possibilità di selezionare il tipo di vaso di espansione chiuso (*auto pressurizzato*, *a diaframma*, *pre pressurizzato*), di indicare il contenuto d'acqua di ciascun circuito considerato⁶⁸, come indicato nell'angolo in basso a sinistra (*Generatore <1>*). I dati inseriti in questa maschera debbono essere quelli reali di impianto e dei componenti utilizzati.

⁶⁸ Il quadro RR1 deve essere ripetuto per ciascun circuito dell'impianto. In particolare si deve considerare il circuito di ciascun generatore e poi ogni circuito che si diparte dai collettori di mandata e ritorno.

In alcuni casi si hanno software specifici per il dimensionamento dei componenti ISPEL che consentono di selezionare i componenti di sicurezza da cataloghi commerciali, vedi Figura 393.

Per il progetto e selezione del vaso di espansione chiuso (ma in base alla scelta fatta in Figura 389 si può anche selezionare un vaso aperto) si ha una maschera di input del tipo di Figura 394.

Vaso d'espansione chiuso

Generatore	Numero	Marca	Modello	Pot.Term.Focolare	Pot.Term.Utile	Press. bar
	1	Similar	2R 14	276,4	248,8	5

Vaso di espansione chiuso

Circuito: Generatore n° 1

Pressione atmosferica Pa: 1,01 bar

Contenuto d'acqua totale del circuito C: 2986 litri

Coefficiente di dilatazione globale e: 0,036 dm³/dm³

Altezza idrostatica dell'impianto Hi: 14 m

Aumento pressione di precarica del vaso Pr: 0,5 bar

Altezza della valvola di sicurezza Hvs: 1,5 m

Altezza del vaso di espansione Hve: 0,5 m

Valvola di sicurezza

Marca - Modello: Caleffi 527540

Pressione di taratura Pt: 4 bar

Sovrapressione Sp: 10 %

Risultati

Numero di vasi: 1 (Scelta vasi chiusi)

Capacità totale Cv: 250 litri

Pressione massima di esercizio vaso Pev: 6 bar

Diametro del tubo di collegamento Dt: 21,7 mm

Raggio di curvatura Rt ≥ 33 mm

Valori adottati: 1, 250, 6, 21,7, 33

Valori proposti: 1, 241, 4,5, 18, 33

Vasi di espansione scelti:

Marca	Capacità	Press.
Caleffi	250	6

Controlli OK Annulla

Figura 394: Maschera di selezione e progetto di un vaso chiuso

Il programma consente, di solito, di selezionare il vaso chiuso commercialmente disponibile con le caratteristiche di progetto, come indicato in Figura 395.

Archivio vasi d'espansione

Marca	Modello	Uso	Capac. litri	Pres. bar	Temper. °C	Attacco	Collaudato ISPEL	EC
Caleffi	555002	riscald. e sanitario	2	10	99	1/2"	N	EC
Caleffi	555005	riscald. e sanitario	5	10	99	3/4"	N	EC
Caleffi	555008	riscald. e sanitario	8	10	99	3/4"	N	EC
Caleffi	555012	riscald. e sanitario	12	10	99	3/4"	N	EC

Cliccare due volte per scegliere il vaso

Lista dei vasi scelti

Marca	Modello	Capacità	Pressione
Caleffi	556250	250	6

Azzera scelte Proposto...

Numero di vasi: 1

Capacità totale: 250 241 litri

Pressione minima: 6 bar

Figura 395: Selezione di un vaso chiuso da un data base commerciale

Anche per la valvola di sicurezza si ha la possibilità di avere una maschera di selezione, del tipo indicato in Figura 396, e di progetto, come indicato nella maschera di Figura 397. Naturalmente i dati qui inseriti debbono essere quelli reali relativi all'impianto realizzato⁶⁹.

Scelta valvole di sicurezza

Pressioni disponibili

Pressione Taratura (bar)	Sovrapressione (%)	Volume del vaso (litri)
4	10	240
4,5	10	216
5	10	199
5,4	10	189

Archivio valvole di sicurezza

Marca	Modello	Pt bar	Diametro	Potenza kW	N° valv.	EC
Caleffi	527440	4	15	205,3	2	EC
Caleffi	527540	4	20	309,5	1	EC
Caleffi	527640	4	25	635,2	1	EC
Caleffi	527740	4	32	875,1	1	EC
Watts	VST 15/40	4	15	184,5	2	EC
Watts	VST 20/40	4	20	207,9	2	EC

Potenza minima kW Potenza valvola kW
 Potenza Tot. valvole kW

OK Annulla

Figura 396: Selezione di una valvola di sicurezza da un data base commerciale

Valvola di sicurezza

Generatore

Numero	Marca	Modello	Pot. Term. Focolare	Pot. Term. Utile	Press. bar
1	Similar	2R 14	276,4	248,8	5

Valvola di sicurezza

Pressione minima ammissibile Pmin bar
 Pressione massima ammissibile (Sp=10%) Pmax bar
 Pressione massima di esercizio del vaso Pev bar

Marca
 Modello
 Pressione di taratura Pt bar
 Sovrapressione di apertura Sp %
 Diametro valvola Dv "

Numero di valvole Ns
 Potenza utile della valvola scelta Qv kW
 Potenza totale delle valvole Qtv kW
 Potenza minima da adottare Qu kW
 Riduzione taratura pressostato Dpr bar
 Pressione taratura pressostato Ppr bar
 Fondo scala manometro compreso tra e bar

Controlli OK Annulla

Figura 397: Maschera di selezione e progetto di una valvola di sicurezza

⁶⁹ Si ricordi che la dichiarazione ISPESL viene effettuata dall'Installatore ad impianto realizzato.

Lo stesso discorso può essere fatto per la valvola di intercettazione del combustibile, come indicato nella Figura 398 per la maschera di input e in Figura 399 per la scelta dal data base commerciale.

Figura 398: Maschera di selezione della valvola di intercettazione del combustibile

Marca	Modello	Combustibile	Diametro	G1 kg/h o m³/h	P1 daPa	Dp	EC
Caleffi	54104	Metano	1/2"	2,8	10	1093	EC
Caleffi	54105	Metano	3/4"	4,5	10	423	EC
Caleffi	54106	Metano	1"	9	10	106	EC
Caleffi	54107	Metano	1" 1/4	12	10	59	EC
Caleffi	54108	Metano	1" 1/2	28	10	11	EC
Caleffi	54109	Metano	2"	33	10	8	EC
Caleffi	54160	Metano	DN65	62	10	2	EC
Caleffi	54180	Metano	DN80	72	10	2	EC

Figura 399: Maschera di selezione di una valvola di intercettazione combustibile da data base

Potenza termica impianto Somma Qu	Pressione di esercizio dell'impianto Pmei	Valvola di intercettazione del Combustibile	Termostati di Blocco
☒ ≤ 350 kW	☒ ≤ 5 bar	☒ sì	☒ 1
☐ > 350 kW	☐ > 5 bar	☐ no	☐ 2

Figura 400: Visualizzazione dei componenti di sicurezza ISPESL

Come si è già detto in precedenza, la dichiarazione ISPEL deve essere corredata da un disegno schematico della centrale termica con l'indicazione di tutti i componenti di sicurezza inseriti nell'impianto.

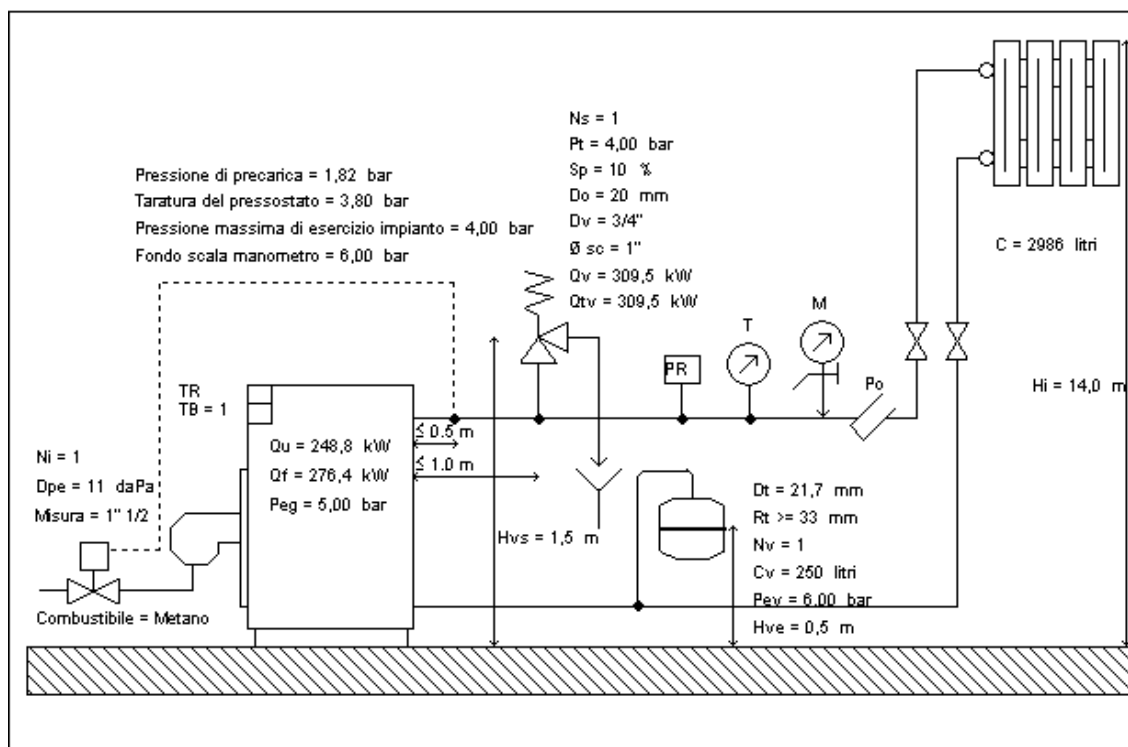


Figura 401: Esempio di schema centrale per dichiarazione ISPEL

12.4 UN SECONDO USO DI CAD PER DICHIARAZIONE ISPEL

Oltre a programmi propriamente detti sono presenti anche applicativi che utilizzano come piattaforma di base Excel di Microsoft con l'aggiunta di macro appositamente sviluppate. Nel prosieguo si ha una rassegna di maschere desunte da un progetto in libreria.

Figura 402: Maschera di input dei dati generali per la dichiarazione ISPEL

Microsoft Excel - ISPEL 2.03.XLS

File Modifica Visualizza Inserisci Formato Strumenti Dati Finestra ? 70%

Arial 10 G C S A A

D23 fx

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
4												DA					
5												BOLLO					
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	
41																	
42																	
43																	
44																	
45																	
46																	
47																	
48																	
49																	
50																	

Spett.le
I.S.P.E.S.I
DIPARTIMENTO DI

OGGETTO: DENUNCIA DI IMPIANTO TERMICO AD ACQUA CALDA AI SENSI DELL'ART. 18
D.M. 01.12.75.

UTENTE

COMUNE (PROV.)

Il sottoscritto

con sede in (.....)

nella sua qualità di

CHIEDE

l'esame del progetto relativo all'impianto di riscaldamento installato in

- 0

di cui si allega la documentazione in duplice copia.

Data

.....
(Timbra o firma)

Allegati (in duplice copia)

Lettera / RD - Denuncia / RR - Relazione tecnica / RRx - Dati tecnici / Vaso chiuso / Re

Figura 403: Uso di Excel per la dichiarazione ISPEL

I.S.P.E.S.L.

Mod. RD

ISTITUTO SUPERIORE PER LA PREVENZIONE E LA SICUREZZA DEL LAVORO

Denuncia di impianto centrale di riscaldamento ad acqua calda

DIPARTIMENTO Roma

Via Po, 61

Indirizzo di installazione dell'impianto

COMUNE	Roma	PROVINCIA	RM	CAP	0	0	1	0	0

**DATI ANAGRAFICI
DELL'UTENTE**

Mario Rossi

nome o ragione sociale

Via Roma, 10

.....
indirizzo

COMUNE	Roma	PROVINCIA	RM	CAP	0 0 1 0 0

**DATI ANAGRAFICI
INSTALLATORE**

Verdi Giovanni

nome o ragione sociale

Via della Consolata, 15

.....
indirizzo per invio corrispondenza

COMUNE	Roma	PROVINCIA	RM	CAP	0 0 1 0 0

INSTALLAZIONE

POTENZIALITA' GLOBALE (*)	kW	2	5	6	.	5	6

☐ NUOVA ☒ ESISTENTE ☐ DA MODIFICARE

Estremi impianto da modificare

(R) _____

Sigla **Matricola**

DESTINAZIONE: ☒ RISCALDAMENTO AMBIENTI ☒ PRODUZIONE ACQUA CALDA PER SERVIZI

DENUNCIANTE

Cognome	Bianchi	Nome	Paolo

Recapito: **COMUNE** **Roma** **PROVINCIA** **RM**

Indirizzo **Corso Cosenza, 112**

Nella mia qualità di (**) Amministratore
dichiaro che gli elementi forniti corrispondono alla realtà.

Data:

q	m	a		

 Firma

Figura 404: Modello RD della dichiarazione ISPESL

Relazione tecnica ✕

Numero generatori Aiuto

	Codice tipo	Costruttore	Num. fabbrica	Press. targa in bar	Cod. combust.	Pot. focolare in kW
1	G - ad elementi in ghisa	Buderus	0124456	5,0	3 - gasolio	248
2	F - a tubi da fumo	Buderus	124 322	5,0	3 - gasolio	510
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Ok Annulla

Figura 405: Maschera per l'input dei generatori

I.S.P.E.S.L. - Dati Tecnici ✕

Circuito: Elenco Contenuto d'acqua dell'impianto: litri

☐ Vaso Aperto ☐ Intercettazione ☐ Dispositivi di Protezione
☒ Vaso Chiuso ☐ Scarico Termico ☐ Sistemi Speciali
☐ Dispositivi di Controllo ☒ Allegati e note

Opzione di stampa:

☒ Barra nera sulle aree relative ai dispositivi non presenti nell'impianto

Vaso Chiuso

Note

Capacità totale: litri

Dislivello generatore/impianto: m

Dislivello vaso/valvola sicurezza: m

Tipo:
☐ autopressurizzato ☒ a diaframma ☐ pre-presurizzato

Pot. nominale totale generatori: kW

Ripartita su n. circuiti:

Pressione iniziale p1: bar

Pressione di targa: bar

Diametro tubo interno collegamento: mm

Valvola di sicurezza

Numero:

Tipo:
☐ ordinaria ☐ ad alzata continua ☐ qualificata

Diametro interno orifizio: mm

Pressione di taratura: bar

Sovrappressione: %

Portata di scarico di vapore: kg/h

Relazione tecnica per impianto centrale di riscaldamento ad acqua calda ----> Dichiarazione

Figura 406: Maschera di input per la Relazione ISPESL

Relazione impianto a vaso chiuso

- ☒ Nell'impianto è prevista la sola valvola di sicurezza essendovi correlazione tra l'aumento di temperatura e l'aumento di pressione.
- ☒ L'impianto è protetto da valvola di scarico termico con reintegro conforme al progetto approvato.
- ☒ In luogo della valvola di scarico termico si è impiegata la valvola di intercettazione combustibile.
- ☒ La pressione di precarica dei vasi di espansione è di bar.
- ☒ L'apporto di calore viene automaticamente interrotto all'arresto delle pompe di circolazione.
- ☐ Gli scarichi dei dispositivi di sicurezza avvengono senza arrecare danni alle persone.
- ☐ La distanza dagli organi di sicurezza, di protezione e di controllo dall'uscita del generatore non è maggiore dei limiti previsti.
- ☐ Il bruciatore è azionato da motore monofase.
- ☐ E' attuata l'indipendenza dei dispositivi di protezione mediante almeno due circuiti separati.
- ☐ La pressione di esercizio dichiarata per il generatore è tale da assicurare la sua stabilità anche alla temperatura massima di intervento degli organi di sicurezza.
- ☐ Le valvole di intercettazione a tre vie non presentano posizioni di manovra in cui risultino contemporaneamente intercettate entrambe le vie di uscita oppure in cui una delle due vie sia completamente chiusa e l'altra aperta solo parzialmente.
- ☐

Figura 407: Maschera di input per vaso di espansione chiuso

Elenco Circuiti

Visualizza il circuito:

n°:

1 - Circuito Caldaia
2 - Circuito 2
3 - Circuito 4
4 - Circuito 4

Nuovo

Inserisci

Elimina

Rinomina

Aiuto **OK** **Annulla**

Figura 408: Maschera per l'elenco dei circuiti di impianto

Vaso di espansione chiuso con diaframma:

Circuito: Circuito 4

Aiuto

TEMPERATURA MAX. ACQUA °C	COEFFICIENTE e
35	0,0048
40	0,0065
45	0,0083
50	0,0103
55	0,0126
60	0,0149
65	0,0175
70	0,0202
75	0,0230
80	0,0262
85	0,0293
90	0,0327
93	0,0350
95	0,0362

C contenuto d'acqua dell'impianto litri
 e coefficiente di espansione
 H altezza idrostatica m
 dH aumento dell'altezza idrostatica, non inferiore a 1.5 m m
 d dislivello tra vaso di espansione e valvola di sicurezza (negativo, se il vaso è posto più in alto della valvola) m
 Pvs pressione di taratura della valvola di sicurezza bar

Pi pressione assoluta iniziale bar
 Pf pressione massima assoluta in fase di esercizio bar
 Pr pressione di precarica del vaso di espansione bar
 Volume teorico del vaso litri
 Valore minimo litri Valore massimo litri

Volume adottato del vaso litri

☒ con diaframma
☐ senza diaframma

Calcola

Ok **Annulla**

Figura 409: Maschera di calcolo del vaso chiuso di un circuito

Vaso di espansione chiuso con diaframma:

Circuito: Circuito 4

Aiuto

TEMPERATURA MAX. ACQUA °C	COEFFICIENTE e
35	0,0048
40	0,0065
45	0,0083
50	0,0103
55	0,0126
60	0,0149
65	0,0175
70	0,0202
75	0,0230
80	0,0262
85	0,0293
90	0,0327
93	0,0350
95	0,0362

C contenuto d'acqua dell'impianto litri
 e coefficiente di espansione
 H altezza idrostatica m
 dH aumento dell'altezza idrostatica, non inferiore a 1.5 m m
 d dislivello tra vaso di espansione e valvola di sicurezza (negativo, se il vaso è posto più in alto della valvola) m
 Pvs pressione di taratura della valvola di sicurezza bar

Pi pressione assoluta iniziale bar
 Pf pressione massima assoluta in fase di esercizio bar
 Pr pressione di precarica del vaso di espansione bar
 Volume teorico del vaso litri
 Valore minimo litri Valore massimo litri

Volume adottato del vaso litri

☒ con diaframma
☐ senza diaframma

Calcola

Ok **Annulla**

Figura 410: Maschera di calcolo del vaso chiuso di un circuito – Valori calcolati

Richiesta di verifica omologativa:

Impianto di riscaldamento ad acqua calda, n° pratica:

Potenzialità del focolare espressa in kW:

Vasi di espansione chiusi di capacità superiore a 25 dm³:

N° fotocopie allegate (libretti dei vasi di espansione):

Persona da contattare

Nominativo

N° Telefonico

Figura 411: Maschera per la richiesta di verifica impianto all'ISPESL

Relazione integrativa

GENERATORE DI CALORE		1	2	3
Costruttore				
Modello				
Potenzialità focolare	kW			
Potenzialità nominale	kW			
Pressione di targa	bar			
Pressione di taratura v.s.	bar			
Sovrappressione	%			
Dislivello tra v.s. e fondo gener.	m			
Pressione max di esercizio	bar			

PRESSOSTATO DI BLOCCO bar

VALVOLA DI SICUREZZA

Costruttore			
n°			
Modello			
Misura			
Orifizio	mm		
Pressione di taratura (Pt)	bar		
Sovrappressione	%		
Pressione di scarico nominale	bar		
Portata di scarico (vapore)	kg/h		

Nota: per i generatori di potenza termica in caldaia superiore a 500 kW la portata di scarico deve essere suddivisa tra almeno due valvole di sicurezza.

DIAMETRO INTERNO DELLA TUBAZIONE DI COLLEGAMENTO AL VASO DI ESPANSIONE

$\Phi_i = (P/1,163)^{1/2} = (\text{.....} / 1,163)^{1/2} = \text{..... mm}$ $\Phi \text{ adottato} = \text{..... mm}$ (min. 18 - 3/4")

P (in kW) è pari alla potenzialità nominale del generatore

VALVOLA DI SICUREZZA DEL BOLLITORE

$\Phi_i = (C/5)^{1/2} = (\text{.....} / 5)^{1/2} = \text{..... 0,0 mm}$ $\Phi \text{ adottato} = \text{..... mm}$

C (in litri) è la capacità del bollitore

Figura 412: Maschera di input per i dati integrativi di calcolo

Diametri interni delle tubazioni:

N.B.: Si deve tener conto della tolleranza ammessa nella fabbricazione della tubazione, per cui il diametro da considerare deve essere quello minimo.

	UNI 8863 L			UNI 8863 M			UNI 7287			API 5 L grado B		
	ISO 65-81 L 1a			ISO 65-81 M 1a			UNI 4991					
	esterno MIN	spess.	interno MIN	esterno MIN	spess.	interno MIN	esterno MIN	spess.	interno MIN	esterno MIN	spess.	interno MIN
1/2"	21,0	2,3	16,4	21,0	2,6	15,8	---	---	---	21,3	2,77	15,76
3/4"	26,4	2,3	21,8	26,5	2,6	21,3	---	---	---	26,7	2,87	20,96
1"	33,2	2,9	27,4	33,3	3,2	26,9	---	---	---	33,4	3,38	26,64
1.1/4"	41,9	2,9	36,1	42,0	3,2	35,6	---	---	---	42,2	3,56	35,08
1.1/2"	47,8	2,9	42,0	47,9	3,2	41,5	---	---	---	48,3	3,68	40,94
2"	59,6	3,2	53,2	59,7	3,6	52,5	60,3	2,9	54,5	60,3	3,91	52,48
2.1/2"	75,2	3,2	68,8	75,3	3,6	68,1	76,1	2,9	70,3	73,0	5,16	62,68
3"	87,9	3,6	80,7	88,0	4,0	80,0	88,9	3,2	82,5	88,9	5,49	77,92
4"	113	4,0	105,0	113,1	4,5	104,1	114,3	3,6	107,1	114,3	6,02	102,26
5"	---	---	---	---	---	---	139,7	4,0	131,7	141,3	6,55	128,20
6"	---	---	---	---	---	---	168,3	4,5	159,3	168,3	7,11	154,08
7"	---	---	---	---	---	---	193,7	5,6	182,5	219,1	8,18	202,74
8"	---	---	---	---	---	---	219,1	6,3	206,5	---	---	---
10"	---	---	---	---	---	---	273,0	6,3	260,4	---	---	---

Figura 413: Tabella dei diametri interni delle tubazioni di sicurezza

CALEFFI

Id.	Marca	Tipo	Modello	litri	p1 in bar	p max in bar	Dimensioni mm			Φ attacco	Massa [kg]
							A	B	C		
CALEFFI	D		555	4	1,5	5	228	180		3/4"	
CALEFFI	D		555	8	1,5	5	228	295		3/4"	
CALEFFI	D		555	12	1,5	5	298	260		3/4"	
CALEFFI	D		555	18	1,5	5	298	365		3/4"	
CALEFFI	D		555	24	1,5	5	328	405		3/4"	
CALEFFI	D		555	35	1,5	5	380	402		3/4"	
CALEFFI	D		555	50	1,5	5	380	537		3/4"	
CALEFFI	D		555	80	1,5	5	450	614	145	3/4"	
CALEFFI	D		555	105	1,5	5	500	668	160	3/4"	
CALEFFI	D		555	150	1,5	5	500	891	155	3/4"	
CALEFFI	D		555C	35	1,5	5	380	402		1"	
CALEFFI	D		555C	50	1,5	5	380	537		1"	
CALEFFI	D		555C	80	1,5	5	450	614	145	1"	
CALEFFI	D		555C	105	1,5	5	500	668	160	1"	
CALEFFI	D		555C	150	1,5	5	500	891	155	1"	
CALEFFI	D		555C	200	1,5	5	600	860	240	1"	
CALEFFI	D		555C	250	1,5	6	630	969	245	1"	
CALEFFI	D		555C	300	1,5	6	630	1131	230	1"	
CALEFFI	D		555C	500	1,5	6	750	1350	280	1"	
CALEFFI	D		555CP	5	1	4	387		75	3/4"	
CALEFFI	D		555CP	8	1	4	387		105	3/4"	
CALEFFI	D		555CP	10	1	4	387		120	3/4"	
CALEFFI	D		555CP	12	1	4	387		140	3/4"	
CALEFFI	D		555CP	14	1	4	387		155	3/4"	
CALEFFI	D		555CP	18	1	4	387		205	3/4"	

Figura 414: Tabella di archivio di vasi di espansione

CALEFFI

Id.	Marca	Tipo	Modello	Misura	Φ orifizio in mm	Sezione netta in cm ²	Press. taratura in bar	Press. scarico nominale in bar	Press. di chiusura in bar	Coeff. di efflusso K	Portata di scarico kg/h	Potenzialità massima del generatore kW	Potenzialità massima del generatore kcal/h	Φ attacco uscita scarico
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	1,00	1,10	0,80	0,79	140,38	81,6	70.100	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	1,50	1,65	1,20	0,79	175,73	102,1	87.800	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	2,00	2,20	1,60	0,79	211,17	122,7	105.500	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	2,25	2,48	1,80	0,79	226,39	131,6	113.100	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	2,50	2,75	2,00	0,79	246,36	143,2	123.100	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	2,70	2,97	2,16	0,79	261,76	152,2	130.800	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	3,00	3,30	2,40	0,79	282,35	164,1	141.100	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	3,50	3,85	2,80	0,79	318,09	184,9	159.000	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	4,00	4,40	3,20	0,79	353,93	205,8	176.900	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	4,50	4,95	3,60	0,79	386,60	224,8	193.200	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	5,00	5,50	4,00	0,79	425,91	247,6	212.900	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	5,40	5,94	4,32	0,79	456,89	265,6	228.400	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	6,00	6,60	4,80	0,79	483,25	281,0	241.600	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	7,00	7,70	5,60	0,79	558,42	324,7	279.200	3/4"
	CALEFFI		527	1/2"	15	1,77	8,00	8,80	6,40	0,79	628,22	365,3	314.100	3/4"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	1,00	1,10	0,80	0,67	211,66	123,0	105.800	1"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	1,50	1,65	1,20	0,67	264,95	154,0	132.400	1"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	2,00	2,20	1,60	0,67	318,38	185,1	159.100	1"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	2,25	2,48	1,80	0,67	341,33	198,4	170.600	1"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	2,50	2,75	2,00	0,67	371,45	215,9	185.700	1"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	2,70	2,97	2,16	0,67	394,66	229,4	197.300	1"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	3,00	3,30	2,40	0,67	425,70	247,5	212.800	1"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	3,50	3,85	2,80	0,67	479,59	278,8	239.700	1"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	4,00	4,40	3,20	0,67	533,63	310,3	266.800	1"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	4,50	4,95	3,60	0,67	582,89	338,9	291.400	1"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	5,00	5,50	4,00	0,67	642,16	373,4	321.000	1"
	CALEFFI		527	3/4"	20	3,14	5,40	5,94	4,32	0,67	688,87	400,5	344.400	1"

Figura 415: Tabella delle valvole di sicurezza

CALEFFI

Id.	Marca	Tipo	Modello	Misura	Temp. Taratura °C	Temp. Max lato sensore °C	Temp. Max lato valvola °C	Temp. Media impiego °C	Press. Max lato sensore bar	Press. Max lato valvola bar	Pot. Gener. Gasolio kcal/h	Pot. Gener. Olio Comb. kcal/h	Pot. Gener. Metano kcal/h	Pot. Gener. GPL kcal/h
	CALEFFI		541	1/2"	98	118	85	40	12,0	0,5	600.000	250.000	50.000	55.000
	CALEFFI		541	3/4"	98	118	85	40	12,0	0,5	1.250.000	500.000	80.000	75.000
	CALEFFI		541	1"	98	118	85	40	12,0	0,5	2.200.000	900.000	150.000	200.000
	CALEFFI		541	1 1/4"	98	118	85	40	12,0	0,5	3.300.000	1.300.000	200.000	250.000
	CALEFFI		541	1 1/2"	98	118	85	40	12,0	0,5	5.000.000	2.000.000	500.000	500.000
	CALEFFI		541	2"	98	118	85	40	12,0	0,5	7.000.000	3.000.000	600.000	650.000
	CALEFFI		541	DN 65	98	118	85	15	12,0	0,5	--	--	800.000	1.250.000
	CALEFFI		541	DN 80	98	118	85	15	12,0	0,5	--	--	1.200.000	1.370.000
	CALEFFI		540	DN 65	97	116	50	15	12,0	0,5	--	--	1.700.000	2.000.000
	CALEFFI		540	DN 80	97	116	50	15	12,0	0,5	--	--	2.300.000	2.500.000
	CALEFFI		540	DN100	97	116	50	15	12,0	0,5	--	--	3.900.000	4.000.000

Figura 416: Tabella delle valvole di intercettazione combustibile

CALEFFI

Id.	Marca	Tipo	Modello	Misura attacco	Misura Scarico	Temp. Taratura t0 °C	Temp. Scarico t1 °C	Temp. Chiusura t2 °C	Temp. Emerg. tE °C	kv kg/h	KVE kg/h	Potenz. Scarico kcal/h
	CALEFFI		542	1 1/2"M	1 1/4"F	98	104	95	99	6.100		117.000
	CALEFFI		542	1 1/2"M	1 1/2"F	99	99	96	98,5	20.300		360.100

Figura 417: Tabella delle valvole di scarico termico

La stampa della dichiarazione ISPEL è conforme ai moduli ministeriali e se ne omette la raffigurazione per motivi di spazio.

13. SIMBOLISMO PER IMPIANTI MECCANICI

13.1 SIMBOLI PIÙ USUALI

Si riportano alcuni simboli utilizzati nei disegni per impianti termotecnici.

Descrizione	Segno grafico	Descrizione	Segno grafico
Tubi piezometrici		Giunzione Segno grafico generale	
Acquedotto (derivazione da condotta pubblica)		Giunzione a bicchiere	
Tubo flessibile		Giunzione a flangia Flangia cieca	
Senso del flusso		Giunzione a manicotto	
Senso del flusso gravitazionale. Nota: Può essere indicato il valore della pendenza espressa in per cento.		Giunto a tre pezzi	
Giunto scorrevole Segno grafico generale		Valvolame Segno grafico generale	
Giunto isolante		Valvola a sfera	
Giunto elastico antivibrante		Valvola a maschio	
Tappo		Valvola a globo	
Fondello		Valvola con otturatore a diaframma	
Riduzione concentrica		Valvola a farfalla	
Riduzione eccentrica		Valvola a galleggiante	
Supporto		Valvola per terminali	
Supporto scorrevole		Valvola ad angolo (a squadra)	
Supporto a punto fisso		Valvola a tre vie	

Figura 418: Simboli per Impianti Termotecnici

Valvola a quattro vie		Rubinetto di spillamento o scarico	
Valvola di non ritorno Senso del flusso indicato dalla freccia		Dispositivo sfogo aria	
Valvola di sicurezza		Dispositivo di sfogo aria manuale	
Stabilizzatore o riduttore di pressione o organo di espansione Triangolo piccolo = lato alta pressione		Dispositivo di sfogo aria automatico	
Dispositivo rompivuoto Segno grafico generale		Dispositivo di sfogo aria automatico con separatore	
Disconnettere Per reti idriche		Separatore di vapore Separatore liquido-vapore	
Gruppo di miscelazione		Pozzetto Segno grafico generale	
		Pozzetto con sifone	
		Separatore Segno grafico generale	
		Sifone	
		Pozzetto con dispositivo di drenaggio per condotte in pressione	
		Pozzetto con dispositivo di presa acqua	
		Scarico aperto	
Scaricatore di condensa vapore acqueo Nota: Precisare in legenda il tipo (secchiello, termodinamico, ecc)		Scarico chiuso	
Indicatore di passaggio			
Indicatore di livello			
Serbatoio o vasca di accumulo acqua			
Stazione di pompaggio dell'acqua			
Stazione di trattamento dell'acqua			

Figura 419: Simboli per Impianti Termotecnici

Apparecchio, segno grafico generale (utilizzare il segno del cerchio per componenti con parti in movimento)			
Nota: Il simbolo rettangolare si può usare in orizzontale o in verticale			
Generatore di calore a combustibile solido			
Generatore di calore a combustibile liquido			
Generatore di calore a combustibile gassoso; preparatore a gas di acqua calda di consumo		Corpo scaldante Segno grafico generale (radiatori, ecc.)	
Generatore di calore elettrico; preparatore elettrico di acqua calda di consumo		Tubo alettato	
Scambiatore di calore Segno grafico generale 1		Pannello radiante (a pavimento, soffitto)	
Segno grafico generale 2 Entrambi utilizzabili indifferentemente (salvo che per impianti di refrigerazione)		Termoconvettore	
Scambiatore di calore ad accumulo		Ventilconvettore	
Scambiatore di calore a piastre		Ventilconvettore con presa aria esterna	
Pompa per acqua		Aeroterma	
Pompa per altri fluidi (liquidi)		Vaso d'espansione, segno grafico generale, sistema aperto	
Filtro Segno grafico generale		Vaso d'espansione a membrana, sistema chiuso	
Filtro a Y (a cestello)		Vaso d'espansione autopressurizzato Sistema chiuso	
Filtro temporaneo		Ammortizzatore di colpo d'ariete	

Figura 420: Simboli per Impianti Termotecnici

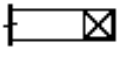
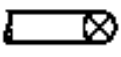
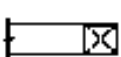
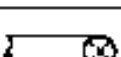
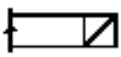
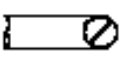
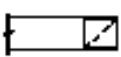
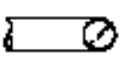
		Bocchetta di mandata	
		Bocchetta (o griglia) di ripresa	
Canale di mandata Sezione quadrangolare visibile		Serranda di regolazione Segno grafico generale	
Canale di mandata Sezione circolare visibile		Serranda ad alette parallele	
Canale di mandata Sezione quadrangolare nascosta		Serranda ad alette contrapposte	
Canale di mandata Sezione circolare nascosta		Serranda a sovrappressione	
Canale di estrazione Sezione quadrangolare visibile		Serranda tagliafuoco Nota: In legenda precisare il numero di minuti di REI	
Canale di estrazione Sezione circolare visibile		Griglia di ventilazione Segno grafico generale	
Canale di estrazione Sezione quadrangolare nascosta		Griglia anti-intemperie	
Canale di estrazione Sezione circolare nascosta		Griglia anti-intemperie dotata di rete anti-insetto	
Senso del flusso		Griglia di transito a labirinto	
Giunto a cannocchiale		Serranda regolabile per camini	
Giunto antivibrante		Tagliafiamma	

Figura 421: Simboli per Impianti Termotecnici

Filtro per aria Segno grafico generale			
Filtro a tasche			
Filtro rotativo			
Umidificatore		Comando manuale Segno grafico generale Anche per servomotore elettrico	
Separatore di gocce		Comando automatico Segno grafico generale	
Silenziatore		Comando a molla	
Batteria di riscaldamento		Comando a contrappeso	
Batteria di raffreddamento		Comando a galleggiante	
Cassetta terminale miscelatrice		Comando a pistone	
Cassetta terminale di postriscaldamento		Comando a membrana	
Cassetta terminale per impianti a portata d'aria variabile		Motore di trascinamento rotativo	
Recuperatore di calore Nota: Indicare tipo RT, rotativo; UHP, a tubi di calore		Compressore aria	
Estrattore d'aria da parete o finestra		Comando elettromagnetico	
Estrattore d'aria a torrino		Controllo a distanza	

Figura 422: Simboli per Impianti Termotecnici

Sonda di temperatura			
Rilevatore di pressione		Apparecchio indicatore (a lettura diretta)	
Rilevatore di portata		Apparecchio registratore	
Sonda di umidità		Contatore Nota: Indicare la grandezza fisica espressa in unità SI	
Rilevatore di livello		Contaimpulsì (per sistemi trattamento acque)	

Figura 423: Simboli per Impianti Termotecnici

		Regolatore, segno grafico generale Nota: Nel segno inserire simbolo letterale con caratteristiche	
		Regolatore ambiente con sonda incorporata, segno grafico generale Nota: Nel cerchio inserire simbolo letterale con caratteristiche	
		Regolatore di temperatura da condotta aria o tubazione con elemento sensibile Nota: Al tratto verticale aggiungere il segno della grandezza	
Pozzetto per termometro		Regolatori di Delta T	
Presa per manometro		Regolatori di Delta P	
Presa per manometro, con flangia di prova		Regolatore montato all'interno di un servocomando	
Regolatori con elemento rivelatore della grandezza incorporato, segno grafico generale			
Regolatore ambiente di temperatura		Valvola a due vie	
Regolatore ambiente di temperatura per condotta aria o posto su tubazione, serbatoio, vasca, ecc.		Valvola a tre vie	
Regolatore ambiente di temperatura differenziale per condotta aria o posto su tubazione, serbatoio, vasca, ecc.		Valvola a quattro vie	
Regolatore ambiente di umidità relativa		Valvola termostatica per radiatori con sonda incorporata	
Regolatore ambiente di umidità relativa per condotta aria		Valvola termostatica per radiatori con sonda a distanza	
Regolatore ambiente di temperatura per umidità assoluta		Valvola a due vie autoazionata (grandezza regolante temperatura)	
Flussostato Nota: La freccia indica il senso del flusso del fluido		Valvola a tre vie autoazionata (grandezza regolante temperatura)	

Figura 424: Simboli per Impianti Termotecnici

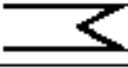
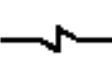
Apparecchio, segno grafico generale (utilizzare il segno del cerchio per componenti con parti in movimento e l'altro simbolo rettangolare per altri apparecchi)		Evaporatore raffreddatore di liquidi	
		Evaporatore raffreddatore a pioggia	
Compressore, simbolo generale Nota: Riportare il fluido usato, per esempio R22, NH3		Serbatoio a pressione Segno grafico generale	
Compressore a piston		Separatore di liquido (per esempio: olio, R22, NH3)	
Compressore a vite o volumetrico		Valvola di intercettazione	
Compressore centrifugo		Organo di espansione, segno generale (triangolo piccolo = alta pressione)	
Compressore ad eiettore		Organo di espansione a regolazione manuale	
Compressore a due stadi		Valvola di espansione termostatica con equilibratore esterno	
Elemento di condensatore Segno grafico generale		Regolatore di pressione autoazionato	
Condensatore raffreddato ad acqua		Valvola di espansione con galleggiante sulla bassa pressione	
Condensatore raffreddato ad aria forzata		Valvola di espansione con galleggiante sull'alta pressione	
Condensatore evaporativo a circolazione naturale d'aria		Regolatore di livello magnetico a galleggiante	
Condensatore evaporativo ad aria forzata		Filtro essiccatore	
Elemento di evaporatore Segno grafico generale		Spie	
Evaporatore a circolazione naturale d'aria		Spia di passaggio	
Evaporatore a circolazione forzata d'aria		Spia di livello	

Figura 425: Simboli per Impianti Termotecnici

Valvola di sicurezza	
Disco di sicurezza e rottura (a °C e kPa)	
Raffreddatore intermedio a miscela	
Scambiatore di calore gas/liquido o rettificatore d'olio	
Torre di refrigerazione	
Refrigeratore di liquidi ad evaporazione	
Sbrinatori elettrici	
Sbrinatori a pioggia d'acqua	

Descrizione	Segno grafico
Senso del flusso	
Senso del flusso gravitazionale. Nota: Può essere indicato il valore della pendenza espressa in per cento.	

Figura 426: Simboli per Impianti Termotecnici

Porta resistente al fuoco	
Percorso di uscita verso l'alto	
Percorso di uscita orizzontale	
Percorso di uscita verso il basso	
Estintore portatile	
Estintore carrellato	
Naspo	
Idrante a muro con tubazione flessibile e lancia	
Idrante sottosuolo	
Idrante sopra suolo	
Attacco per autopompa singolo	
Attacco per autopompa doppio	
Impianto di allarme	
Impianto automatico rivelazione gas	
Impianto automatico rivelazione fumo	

Elettrovalvola di intercettazione	
Valvola manuale di intercettazione	
Interruttore elettrico generale	
Luce d'emergenza	
Segnale di allarme sonoro	
Via di fuga interna	
Via di fuga esterna	
Punto di raccolta	

Figura 427: Simboli per Impianti Termotecnici

INDICE GENERALE

1. GLI IMPIANTI MECCANICI	1
1.1 LE PROBLEMATICHE ENERGETICHE	1
1.2 EDIFICI A ZERO ENERGIA	2
1.3 PRESENTAZIONE DEGLI IMPIANTI MECCANICI	4
2. IMPIANTI DI RISCALDAMENTO*	10
2.1 LA LEGGE 10/91 SUL RISPARMIO ENERGETICO	10
2.2 D.P.R. N. 551/99 E SUE MODIFICHE AL D.P.R. 412/93	11
2.3 DECRETO 13/12/2003	11
2.3.1 CRITERI GENERALI DI APPLICAZIONE DELLA L. 10/91	12
2.4 CRITERI DI CALCOLO PER L'APPLICAZIONE DELLA L. 10/91	12
2.4.1 FASE 1: CARICO TERMICO DI PICCO DI RISCALDAMENTO E VERIFICA DI ISOLAMENTO	12
Osservazione	13
2.4.2 PARAMETRI DI CALCOLO PER IL CARICO TERMICO	14
Superfici verticali ed orizzontali con flusso ascendente:	14
Superfici orizzontali con flusso discendente:	14
Per le strutture trasparenti:	14
Componenti opachi:	15
Ponti Termici	16
Metodo di calcolo CSTB dei Ponti Termici	18
Caratterizzazione delle zone climatiche	20
Caratterizzazione delle capacità dispersive degli edifici	29
2.4.3 FASE 2: CARATTERIZZAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI	30
2.4.4 LA VERIFICA ENERGETICA DELLA L. 10/91	32
Calcolo dell'energia dispersa per trasmissione e ventilazione	33
Calcolo degli apporti gratuiti	36
Calcolo dell'energia utile	39
Intermittenza dell'impianto di riscaldamento	39
Fabbisogno utile mensile	40
2.4.5 RENDIMENTI DI IMPIANTO	41
Rendimenti utili del generatore e DPR 551/1999	46
D.M. 17-03-2003	47
Energia termica fornita dal sistema di produzione	47
Calcolo del FEN (Fabbisogno Energetico Normalizzato)	48
Osservazioni sull'applicazione della L.10/91	48
Cause del surriscaldamento degli ambienti	49
2.5 I NUOVI DECRETI SUL RISPARMIO ENERGETICO: DLGS 192/05 E DLGS 311/06	50
2.6 DECRETO LEGISLATIVO N. 192 DEL 19 AGOSTO 2005.	50
2.6.1 CONSIDERAZIONI SUL D.LGS 192/2005 E SUL D.LGS 311/06	53
2.6.2 SANZIONI PREVISTE	53
2.6.3 NORME ABROGATE	54
2.6.4 NUOVO INDICATORE DI PRESTAZIONE ENERGETICA	54
2.6.5 DISPOSITIVI DI REGOLAZIONE	56

2.6.6	EDIFICI PUBBLICI	56
2.6.7	NUOVA RELAZIONE EX ART. 28 L. 10/91	57
2.6.8	LIMITI ARCHITETTONICI IMPOSTI DAL D.LGS 192/05 E 311/06	58
	Controlli della superficie vetrata	58
	Predisposizione della superficie di raccolta dell'energia solare	58
2.6.9	METODOLOGIE DI CALCOLO	59
2.6.10	CLAUSOLA DI CEDEVOLZZA	59
2.6.11	CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI	60
2.6.12	PREMIALITÀ DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI - CASA CLIMA®	61
2.7	CERTIFICAZIONE ENERGETICA – LINEE GUIDA NAZIONALI	63
2.7.1	IL SISTEMA EDIFICIO - IMPIANTO	63
2.7.2	BILANCIO ENERGETICO	64
	Bilancio energetico orario	64
	Bilancio Energetico mensile	66
	Riscaldamento	66
	Raffrescamento	66
2.7.3	RIEPILOGO SULLA CERTIFICAZIONE ENERGETICA	67
2.7.4	APPLICAZIONE DELLA UNI TS11200 PARTE 1° E PARTE 2°	69
	Temperatura interna di progetto invernale	70
	Temperatura interna di progetto estiva	71
	Durata della stagione di riscaldamento	71
	Calcolo degli scambi termici per trasmissione	71
2.7.5	CALCOLO DELL'ENERGIA PRIMARIA (EP) – METODO SEMPLIFICATO	73
2.8	NUOVE NORME UNI TS 11300 PARTE 1 E 2 – 02-10-2014	73
2.9	CERTIFICAZIONE ENERGETICA NELLA REGIONE LOMBARDIA	75
2.10	CERTIFICAZIONE ENERGETICA SECONDO LE LINEE GUIDA NAZIONALI – DM 06-09	76
	Esempio di classificazione energetica	78
2.10.1	INDICE DI PRESTAZIONE TERMICA DELL'EDIFICIO PER IL RAFFRESCAMENTO ($EP_{E,INV}$)	79
2.10.2	PROCEDURE PER LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA	81
2.10.3	VALIDITÀ DEGLI ATTESTATI DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA	83
2.11	DPR N. 75/2013 – CERTIFICATORI ENERGETICI	83
2.12	DPR 59/09 E DM 06/09	84
	Per la climatizzazione invernale:	86
	Per la climatizzazione estiva:	86
2.12.1	CASO 1: APPROCCIO PRESTAZIONALE	87
2.12.2	METODO BASATO SU PARAMETRI QUALITATIVI	88
2.12.3	PREREQUISITO COMMA 16	88
2.12.4	PONTI TERMICI CORRETTI	90
2.12.5	RENDIMENTO DEL GENERATORE	90
2.12.6	CASO 2 - RISTRUTTURAZIONI TOTALI < 1000 M ²	91
2.12.7	CASO 3 - EDIFICI ESISTENTI	91

2.12.8	NUOVA INSTALLAZIONE DI IMPIANTI TERMICI	93
	Ristrutturazione integrale di impianti termici: requisito prescrittivo (comma 10):	93
	Requisito prescrittivo (comma 11):	93
	Requisiti (art. 4 comma. 12 D.P.R. 02/04/09 n. 59)	93
2.12.9	ADEMPIMENTI NEL SETTORE PUBBLICO	93
2.12.10	VERIFICA IGROMETRICA	94
2.12.11	CONTROLLO DELL'IRRAGGIAMENTO SOLARE	94
	1° Requisito Prescrittivo (comma 18 lettera a)	94
	2° Requisito Prescrittivo (comma 18 lettera b)	94
	3° Requisito Prescrittivo (comma 18 lettera c)	95
2.12.12	UTILIZZO DI VETRATE A BASSO FATTORE SOLARE	95
	Requisito Prescrittivo (Art. 4 comma 19)	95
	Requisito Prescrittivo (Art. 4 comma 20)	95
2.12.13	ORGANI DI REGOLAZIONE	95
2.12.14	RELAZIONI TECNICHE	96
2.12.15	METODOLOGIE DI CALCOLO	96
	Art. 3 commi 1 e 2	96
2.13	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO	97
2.13.1	FABBISOGNO ENERGETICO PRIMARIO	97
2.13.2	PRESTAZIONI DEI COMPONENTI EDILIZI	97
2.13.3	VENTILAZIONE E INFILTRAZIONI D'ARIA	97
2.13.4	PONTI TERMICI	98
2.13.5	VALUTAZIONI PER IL PERIODO ESTIVO	98
2.13.6	SCHERMATURE ESTERNE	98
2.13.7	BANCHE DATI E NORME DI SUPPORTO	98
2.13.8	VETRI	99
2.14	D.LGS. 28/2011 (PROMOZIONE DELLE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILE, FER)	99
2.14.1	INTEGRAZIONE DELLE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILI (FER)	100
	Norma UNI TS 11300 Parte 4°	101
2.15	LE RACCOMANDAZIONI DEL CTI	101
2.15.1	SIMBOLISMO UTILIZZATO NELLE NORMATIVE	101
2.16	CONTRIBUTO DELLA RACCOMANDAZIONE 09/2012 DEL CTI	102
2.16.1	VERIFICA DEL GRADO DI COPERTURA CON IL METODO DELL'ENERGIA PRIMARIA TOTALE	103
2.17	RACCOMANDAZIONE 14/2013 DEL CTI	103
2.17.1	ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI ON SITE	105
2.17.2	GENERATORI DA PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA	106
2.17.3	GENERATORI DI ENERGIA COMBINATA	106
2.17.4	CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA	107
2.17.5	NUOVI FATTORI DI ENERGIA PRIMARIA	107
2.18	RIEPILOGO DELLE VERIFICHE DA EFFETTUARE PER I DD.LLGG.SS 192/05 E 28/2011	107
2.18.1	VERIFICHE AI SENSI DEL D.LGS. 192/05 E DPR 59/09	107

2.18.2	VERIFICHE AI SENSI DEL D.LGS. 28/2011	108
2.19	USO DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI	108
2.19.1	OBBLIGO DI INTEGRAZIONE SUI TETTI	108
2.20	EDIFICI A QUASI ZERO ENERGIA - DIRETTIVA 2010/31/CE	109
2.20.1	REQUISITI MINIMI DI PRESTAZIONE ENERGETICA IN EDIFICI NUOVI	110
2.20.2	REQUISITI MINIMI DI PRESTAZIONE ENERGETICA IN EDIFICI ESISTENTI	110
2.20.3	IMPIANTI TECNICI NELL'EDILIZIA	110
2.20.4	EDIFICI A ENERGIA QUASI ZERO	111
2.20.5	ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA	111
2.20.6	RILASCIO DELL'ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA	112
2.20.7	ESPERTI INDEPENDENTI	113
2.20.8	RECEPIMENTO	113
2.20.9	QUADRO COMUNE GENERALE PER IL CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI	113
2.21	DECRETO N. 63 DEL 04-06-2013	114
2.21.1	AMBITO DI APPLICAZIONE	114
2.21.2	MODALITÀ DI APPLICAZIONE	115
2.21.3	EDIFICI A QUASI ZERO ENERGIA	116
2.21.4	ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA	117
2.21.5	RELAZIONI TECNICHE E DEPOSITO IN COMUNE	119
2.21.6	NORME TRANSITORIE	119
2.21.7	SANZIONI	120
2.21.8	ABROGAZIONI E DISPOSIZIONI FINALI	121
2.22	DIRETTIVA 2012/27/UE	121
3.	DECRETO LEGISLATIVO 102 – 2014	124
3.1	EFFICIENZA ENERGETICA DECRETO LEGISLATIVO N. 102/2014 DI ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2012/27/UE - NOTA ANCE	124
	Miglioramento della prestazione energetica degli immobili della Pubblica Amministrazione centrale (art. 5)	124
	Fondo nazionale per l'efficienza energetica (art. 15)	125
	Deroghe per gli spessori di murature e solai e per le distanze minime tra gli edifici (art. 14)	126
4.	MODELLO R5C1 DELLA UNI EN 13790	127
4.1	PRESENTAZIONE DEL MODELLO R5C1	127
4.2	DEFINIZIONE DELLE CONDUTTANZE, DELLA CAPACITÀ TERMICA E DEI FLUSSI TERMICI SCAMBIATI	130
4.2.1	CONDUTTANZA DI VENTILAZIONE, HVE	130
4.2.2	CONDUTTANZA DI TRASMISSIONE ATTRAVERSO LE FINESTRE, HTR,W	130
4.2.3	CONDUTTANZA DI TRASMISSIONE DELLE PARETI OPACHE, HTR,OP	130
	Conduttanze di Accoppiamento Htr,em e Htr,ms	131
	Osservazione sulla Capacità Termica C _m	132
	Coefficienti di scambio termico per le Conduttanze di Accoppiamento	133
	Apporti interni, Fint	133

Apporti solari, F_{sol}	134
Flusso di energia al nodo T_{air}	135
Flusso verso il nodo T_s	135
Flusso verso il nodo T_m	135
4.3 OSSERVAZIONE SU DATI DI INPUT	135
5. SOLUZIONE DEL MODELLO <i>R5C1</i>	138
5.1 SCELTA DEL METODO DI CALCOLO PER IL MODELLO <i>R5C1</i>	138
5.2 MODALITÀ DI UTILIZZO DEL MODELLO <i>R5C1</i>	138
5.2.1 MODALITÀ DIRETTA	138
Evoluzioni termiche dinamiche dell'edificio	138
Evoluzione Libera	139
Evoluzione con temperatura interna imposta	139
Evoluzione mista	139
5.2.2 MODALITÀ INVERSA	140
5.3 SOLUZIONI PER MODALITÀ DIRETTA	140
5.3.1 SOLUZIONE DEL MODELLO <i>R5C1</i> DELLA UNI EN 13790 IN EVOLUZIONE LIBERA	140
5.3.2 METODO DI HEUN PER L'EVOLUZIONE LIBERA	142
5.3.3 INTERFACCIA PER L'UTILIZZO DEL MODELLO DI CALCOLO ORARIO	143
5.3.4 CALCOLO DELLE CONDUTTANZE E DELLA CAPACITÀ TERMICA	143
5.3.5 CALCOLO DEI VETTORI DI INPUT AL MODELLO	145
5.3.6 CASO ESEMPIO PER IL MESE DI LUGLIO IN EVOLUZIONE LIBERA	148
5.3.7 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLA CAPACITÀ TERMICA – GRADINO DI TEMPERATURA ESTERNA	155
5.3.8 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLA CAPACITÀ TERMICA – GRADINO DI IRRAGGIAMENTO	162
Osservazioni sulle risposte ai gradini	165
5.3.9 SOLUZIONE DEL MODELLO <i>R5C1</i> DELLA UNI EN 13790 CON TEMPERATURA AMBIENTE IMPOSTA	168
5.3.10 METODI DI HEUN PER LA SOLUZIONE A TEMPERATURA IMPOSTA	169
5.3.11 INTERFACCIA PER L'UTILIZZO DEL MODELLO IN EVOLUZIONE FORZATA	170
Caso esempio in evoluzione forzata per Giugno	171
Caso esempio in evoluzione mista nel mese di Giugno	176
Caso esempio in evoluzione mista nel mese di Gennaio	179
Calcolo su più giorni con il modello <i>R5C1</i> in evoluzione a Temperatura fissata a Gennaio	184
Calcolo su più giorni con il modello <i>R5C1</i> in evoluzione a Temperatura fissata a Giugno	186
5.4 SOLUZIONE PER MODALITÀ INVERSA	189
5.4.1 SOLUZIONE DEL MODELLO <i>R5C1</i> DELLA UNI EN 13790 CON FLUSSO TERMICO, $F_{HC,ND}$, IMPOSTO	189
5.4.2 METODO DI HEUN PER EVOLUZIONE A FLUSSO TERMICO IMPOSTO	190
5.4.3 PARTICOLARITÀ DEL MODELLO A FLUSSO TERMICO IMPOSTO	191
Caso Esempio con Flusso Termico imposto a gradino	191
Caso Esempio con Flusso Termico imposto – Gennaio	198
Caso di Flusso Termico imposto variabile	204
Caso Esempio con Flusso Termico imposto – Giugno	204
5.5 RIEPILOGO DELLE MODALITÀ DI CALCOLO DEL MODELLO <i>R5C1</i>	208

5.5.1	MODALITÀ DIRETTA AD EVOLUZIONE LIBERA	208
5.5.2	MODALITÀ DIRETTA A TEMPERATURA INTERNA IMPOSTA	208
5.5.3	MODALITÀ DIRETTA MISTA	208
5.5.4	FUNZIONALITÀ AGGIUNTIVE ALLA MODALITÀ DIRETTA MISTA	208
	Modalità con VMC a portata costante	208
	Modalità con VMC a portata variabile	208
	Modalità <i>Multi Room</i>	209
	Modalità di calcolo con più sequenze giornaliere	209
5.5.5	MODALITÀ INVERSA A FLUSSO TERMICO IMPOSTO	209
5.5.6	OSSERVAZIONE SULL'UTILIZZO DEI PROFILI D'USO	209
	Profilo d'uso interno	209
	Profilo d'uso degli impianti	209
	Funzionamento del Modello con Flusso Termico Imposto	210
5.5.7	UTILIZZO DEL MODELLO R5C1 PER IL CONTROLLO PREDITTIVO	210
6.	IMPIANTI MECCANICI IN EDIFICI AD ALTE PRESTAZIONI ENERGETICHE*	211
6.1	UTILIZZO DI ENERGIA ELETTRICA DA RETE	211
6.2	INTEGRAZIONE ENERGETICA NEGLI EDIFICI CON POMPA DI CALORE	212
6.2.1	EDIFICIO CON SOLO RISCALDAMENTO ACS ED ILLUMINAZIONE	212
6.2.2	EDIFICIO CON IMPIANTI DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO, ACS E ILLUMINAZIONE	215
6.3	CONDIZIONI PER L'ACCETTAZIONE DELLA RINNOVABILITÀ DELL'ENERGIA	216
6.4	CALCOLO DELL'ENERGIA RINNOVABILE REALE AI FINI DELLA VALUTAZIONE ENERGETICA	217
7.	ANALISI TERMICA DINAMICA DEGLI EDIFICI*	219
7.1	LA PROBLEMATICHE DELL'ANALISI DINAMICA DEGLI EDIFICI	219
7.2	MODELLAZIONE DINAMICA	224
7.2.1	MODELLI A SERIE TEMPORALI	224
7.2.2	MODELLI STATISTICI	224
7.3	PROGRAMMI DI ANALISI DINAMICA	225
8.	INDAGINI ENERGETICHE SUGLI EDIFICI	227
8.1	LE INDAGINI ENERGETICHE	227
8.2	LA TERMOGRAFIA APPLICATA AGLI EDIFICI	229
8.2.1	LA FISICA DI BASE	229
8.2.2	FUNZIONAMENTO DELLE MACCHINE TERMOGRAFICHE	231
	Metodi per evitare le riflessioni	233
	Metodi di indagine	233
	Operatività delle termo camere	234
8.3	COMPONENTI DELL'ENERGIA IRRADIATA	235
8.4	APPLICAZIONI DELLA TERMOGRAFIA NELL'EDILIZIA	236
8.4.1	NORMATIVA UNI DI RIFERIMENTO	236
8.4.2	REQUISITI DI PROVA PER L'ANALISI TERMOGRAFICA	237
8.5	MISURATORI DI FLUSSO TERMICO	241
8.5.1	PROCEDURA OPERATIVA	241

Metodo della resistenza liminare	243
Accorgimenti	244
Incertezza	244
8.6 CONSIDERAZIONI SUGLI STRUMENTI DI DIAGNOSI ENERGETICHE	244
9. RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA EDIFICI	245
9.1 LA NECESSITA' DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA	245
9.2 INCIDENZA DEI DISPERDIMENTI TERMICI	246
9.2.1 ANALISI ENERGETICA DELL'EDIFICIO	247
9.3 STRATEGIE DI INTERVENDO PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA	247
9.4 INTERVENTI DI RETROFIT SULL'INVOLUCRO DELL'EDIFICIO	247
9.4.1 INTERVENTI SUL SOLAIO DI COPERTURA	248
9.4.2 INTERVENTI SUI PAVIMENTI	250
9.4.3 INTERVENTO SULLE PARETI ESTERNE E SULLA FACCIATA	250
9.4.4 INTERVENTI SUGLI INFISSI E SULLE VETRATE	253
9.5 INTERVENTI SUGLI IMPIANTI	255
9.5.1 IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE INESISTENTI	256
9.5.2 IMPIANTI ESISTENTI OBSOLETI	258
Osservazioni sulla sostituzione del generatore di calore	258
Le valvole termostatiche	258
9.5.3 SOSTITUZIONE DEI GENERATORI TERMICI	259
9.5.4 INSERIMENTO DI IMPIANTI AD ENERGIA RINNOVABILE	259
9.5.5 UTILIZZO DI FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI (FER)	260
9.6 FATTIBILITÀ TECNICO - ECONOMICA DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE	263
9.6.1 DIFFERENZE TRA L'ANALISI FINANZIARIA E L'ANALISI ECONOMICA.	263
9.6.2 PROBLEMATICHE DI FONDO NELL'ACB	263
9.6.3 COSTI ESPlicitI E COSTI IMPLICITI	264
9.6.4 COSTI – OPPORTUNITÀ	264
9.6.5 DETERMINAZIONE DEL SAGGIO DI SCONTO NELL'ACB	264
9.6.6 CRITERIO DI GIUDIZIO SU UN INVESTIMENTO BASATO SUL VALORE ATTUALE NETTO	265
9.6.7 CRITERIO DI GIUDIZIO SU UN INVESTIMENTO BASATO SUL SAGGIO DI RENDIMENTO INTERNO	265
9.7 PROCEDURA DA SEGUIRE PER L'ANALISI COSTI BENEFICI	265
9.7.1 VALORE ATTUALE DEI COSTI E DEI BENEFICI	265
9.7.2 CRITERI DI SCELTA	266
Osservazione sul metodo del Net Cash Flow	268
9.7.3 TEMPO DI RITORNO ATTUALIZZATO DELL'INVESTIMENTO, TRA	268
9.7.4 ANALISI DI SENSITIVITÀ	269
9.7.5 INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI	269
9.7.6 INVESTIMENTO	270
9.7.7 INTERESSE DI CALCOLO	271

9.7.8	NORMA PRN 15459 - VALUTAZIONI ECONOMICHE STANDARD	272
	Rateo di interesse reale	272
	Tasso di sconto	272
	Fattore del valore presente	272
	Fattore di annualità	272
9.7.9	COSTO GLOBALE	273
9.7.10	CASO ESEMPIO	273
	Interventi sulle pareti	273
	Interventi sulle finestre	273
	Interventi sull'impianto	276
	Risultati ottenuti	276
9.7.11	VALUTAZIONI ECONOMICHE	277
9.7.12	VALUTAZIONE DEI BENEFICI FIGURATIVI DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA	278
9.8	CONSIDERAZIONI FINALI SULLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA	278
10.	PROGETTO IMPIANTI DI RISCALDAMENTO*	282
10.1	LE PROBLEMATICHE DEGLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO	282
10.2	LE FASI PROGETTUALI DEGLI IMPIANTI TECNICI	283
10.3	SPECIFICHE DI PROGETTO	283
10.4	CALCOLO DEI CARICHI TERMICI	285
10.5	SCELTA DELLA TIPOLOGIA IMPIANTISTICA	287
10.6	SCHEMATIZZAZIONE DELLA SOLUZIONE IMPIANTISTICA	290
10.6.1	IMPIANTI CHE UTILIZZANO SOLO ACQUA	291
10.6.2	CENTRALE TERMICA	294
10.6.3	CANNE FUMARIE	294
10.6.4	IMPIANTI CHE UTILIZZANO ARIA	294
	Canali di mandata	300
	Canali di ripresa	300
	Canali di espulsione	300
	Tenuta dei canali per l'aria	300
	Classificazione dei canali	300
	Unità di trattamento aria (UTA)	301
	Perdite di pressione all'interno delle UTA	302
10.6.5	IMPIANTI MISTI ARIA – ACQUA	303
10.7	SELEZIONE DEI COMPONENTI DI IMPIANTO	304
10.7.1	ESECUTIVI DI PROGETTO	305
10.7.2	ESECUTIVO DI CANTIERE	307
10.8	DIMENSIONAMENTO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	308
10.8.1	SCELTA DELLA DIFFERENZA DI TEMPERATURA DI PROGETTO	308
10.8.2	ISOLAMENTO DELLE TUBAZIONI	311
10.9	DISEGNO ESECUTIVO DEGLI IMPIANTI	311
10.10	DOCUMENTI TECNICO CONTABILI	315
10.10.1	PRINCIPALI RICHIAMI LEGISLATIVI: EX LEGGE 46/90 ORA DM 37/08, L. 10/91, DPR 412/93, DPR 224/88, D.LGS 192/05 E D.LGS 311/06 E SUCCESSIVI AGGIORNAMENTI	315
	Procedure Interne	316

Procedure Esterne	316
10.10.2 SCOPO DI UN IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE	316
10.10.3 PRINCIPALI FASI PER LA REALIZZAZIONE E CONDUZIONE DEGLI IMPIANTI	317
10.10.4 CODIFICAZIONE DELLA TIPOLOGIA IMPIANTISTICA	317
10.11 RICHIESTA DI UN PROGETTO	318
10.11.1 RICHIESTA GENERICA DI PROGETTO – OFFERTA IMPIANTISTICO	318
10.11.2 RICHIESTA IN BASE AD UN PROGETTO DI MASSIMA DEL COMMITTENTE	318
10.11.3 RICHIESTA IN BASE AD UN PROGETTO ESECUTIVO DEL COMMITTENTE	319
10.11.4 CONTENUTI DI UN PROGETTO -OFFERTA	319
10.12 DATI DI PROGETTO PER UN IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE	320
10.12.1 DATI GEOGRAFICI E TERMOIGROMETRICI ESTERNI	320
10.12.2 COEFFICIENTI DI TRASMITTANZA TERMICA	320
10.12.3 AFFOLLAMENTI NEGLI AMBIENTI	320
10.12.4 ILLUMINAZIONE ED UTENZE ELETTRICHE	320
10.12.5 GIORNO DI RIFERIMENTO NEL PROGETTO	321
10.12.6 VARIABILI INTERNE AI LOCALI CONDIZIONATE	321
10.12.7 VALORI LIMITI NELLA PROGETTAZIONE	321
10.12.8 RICAMBI D'ARIA	321
10.12.9 MAGGIORAZIONI PER DISPERSIONI	321
10.12.10 MAGGIORAZIONI PER INTERMITTENZA	321
10.12.11 DATI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE PER LA CLIMATIZZAZIONE/RISCALDAMENTO	321
10.12.12 POTENZE IMPIEGATE ED ASSORBITE DALLE PRINCIPALI APPARECCHIATURE	322
10.13 COLLAUDO DEGLI IMPIANTI TERMICI	322
10.13.1 RIFERIMENTI NORMATIVI PER IL COLLAUDO	322
10.13.2 CRITERI COSTRUTTIVI DEGLI IMPIANTI TERMICI	323
10.13.3 PROCEDURE PER IL COLLAUDO	328
<u>11. COMPONENTI PRINCIPALI DI IMPIANTO*</u>	<u>330</u>
11.1 COME E' FATTO UN IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	330
11.2 GENERATORI TERMICI	331
11.2.1 CALDAIE A MODULAZIONE DI FIAMMA	331
11.2.2 CALDAIE A CONDENSAZIONE	331
11.2.3 CALDAIE A TEMPERATURA SCORREVOLE	335
11.2.4 CALDAIA A PIÙ PASSAGGI DI FUMI	337
11.2.5 FUNZIONAMENTO DEI GENERATORI DI CALORE	338
Temperatura teorica di combustione	341
Rendimenti e Perdite	341
11.3 TIPOLOGIE DI CALDAIE	342

11.3.1	GENERATORI A GASOLIO	343
11.3.2	GENERATORI A GAS	345
11.3.3	CALDAIE A BIOMASSA	347
11.3.4	CALDAIE MODULARI	352
11.3.5	SELEZIONE DELLE CALDAIE	353
11.4	BRUCIATORI	353
11.4.1	INSTALLAZIONE DEI BRUCIATORI	358
11.4.2	SELEZIONE DEI BRUCIATORI	359
11.5	SISTEMA GENERATORE – CAMINO	359
11.5.1	IL CAMINO	360
	Tiraggio Naturale	363
	Tiraggio Forzato	365
11.5.2	USO DEI CAD PER LA SELEZIONE DEI CAMINI	367
	Stampa dei risultati di calcolo	367
11.5.3	CANNE FUMARIE	368
11.5.4	CLASSIFICAZIONE DEI BRUCIATORI	370
	Bruciatori Atmosferici	370
	Bruciatori Premiscelati	371
11.6	CENTRALI TERMICHE	372
11.7	GENERATORI ELETTRICI – REFRIGERATORI E POMPE DI CALORE	378
11.7.1	EFFICIENZA MEDIA STAGIONALE E CLASSIFICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE	382
11.7.2	UTILIZZO DELLE POMPE DI CALORE	385
11.7.3	TEMPERATURA BIVALENTE	389
11.7.4	METODI PER INCREMENTARE LE PRESTAZIONI DELLE POMPE DI CALORE	391
11.7.5	CAMPI DI APPLICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE AL VARIE DELLE ZONE CLIMATICHE	392
11.7.6	RIDUZIONE DELL'EER PER PRODUZIONE DI ACS	393
11.7.7	CONVENIENZA DELLE POMPE DI CALORE	394
11.7.8	PROBLEMATICHE DELLE POMPE DI CALORE	395
11.7.9	UNITÀ CON MODULO IDRONICO INCORPORATO	396
11.7.10	FUNZIONAMENTO IN FREE COOLING	396
11.7.11	SELEZIONE DELLA POMPA DI CALORE	398
11.7.12	CLASSIFICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE IN BASE AL FLUIDO TERMOMETTORE E AL POZZO FREDDO	398
	L'aria	398
	L'acqua	398
11.7.13	APPLICAZIONI DELLA POMPA DI CALORE	399
11.7.14	POMPE DI CALORE AD ASSORBIMENTO	399
11.8	TIPI DI FLUIDI TERMOMETTORI	403
11.8.1	CIRCUITI AD ACQUA	403

Pompa di circolazione	403
Selezione della pompa di circolazione	404
Collettori di centrale	404
Separatori Idraulici	405
11.8.2 CIRCUITI AD ARIA	409
11.8.3 UNITÀ DI TRATTAMENTO ARIA (UTA)	410
Selezione dell'UTA	410
Selezione delle Batterie di riscaldamento	412
Selezione dell'Unità Ventilante	414
11.9 CORPI SCALDANTI	415
11.9.1 RADIATORI	415
Selezione dei radiatori	419
11.9.2 PANNELLI RADIANTI	420
Osservazione sui pannelli radianti	426
Progetto dei pannelli radianti	427
11.9.3 RAFFRESCAMENTO CON PANNELLI RADIANTI	431
11.10 VALVOLA TERMOSTATICA	434
11.10.1 VALVOLE TERMOSTATICHE E CONDENSAZIONE	434
11.10.2 VALVOLE TERMOSTATICHE E CONTABILIZZAZIONE INDIVIDUALE	435
11.10.3 SELEZIONE DELLE VALVOLE TERMOSTATICHE	436
11.11 APPERECCHIATURA DI SICUREZZA DI CENTRALE	436
11.11.1 VASO DI ESPANSIONE	436
Vasi di espansione aperti	437
Vasi di espansione chiusi	439
Selezione del Vaso di Espansione	442
11.11.2 VALVOLA DI SICUREZZA	442
11.11.3 VALVOLA DI SCARICO TERMICO	445
11.11.4 VALVOLE DI INTERCETTAZIONE DEL COMBUSTIBILE	448
Selezione delle valvole di intercettazione combustibile	450
11.11.5 SISTEMI SPLIT	452
Selezione delle unità split	454
11.12 DILATATORI TERMICI	455
11.13 TIPI DI TERMINALI PER LA CESSIONE DELL'ENERGIA	456
11.13.1 TERMOCONVETTORI	456
11.13.2 TERMOVENTILCONVETTORI (<i>FAN COIL</i>)	457
Selezione dei Termoventilconvettori (Fan Coil)	460
Osservazione sui termoconvettori e fan coil	460
11.13.3 BOCCHETTE E DIFFUSORI	463
Selezione delle bocchette o dei diffusori	464
11.13.4 RECUPERATORI DI CALORE	467
Selezione di un recuperatore di calore	469
12. DICHIARAZIONE ISPESL	471
12.1 LA DICHIARAZIONE ISPESL	471

12.2	MODULISTICA DA PRESENTARE:	471
12.3	ESEMPIO DI DENUNCIA ISPEL	478
12.3.1	ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO DI COMPONENTI ISPEL	489
12.3.2	USO DI CAD PER LA DICHIARAZIONE ISPEL	493
12.4	UN SECONDO USO DI CAD PER DICHIARAZIONE ISPEL	499
13.	<u>SIMBOLISMO PER IMPIANTI MECCANICI</u>	508
13.1	SIMBOLI PIÙ USUALI	508

ELENCO DELLE FIGURE

FIGURA 1: VOLUME DI CONTROLLO DELL'EDIFICIO AI FINI DEGLI SCAMBI ENERGETICI	3
FIGURA 2: ESEMPIO DI STRUTTURA SPAZIALE PROPOSTA COME STRUTTURA ANTISISMICA TERRESTRE	4
FIGURA 3: ESEMPIO DI SOPRAVVIVENZA AL LIMITE NELLO SPAZIO OTTENUTA CON AMBIENTE ARTIFICIALE	5
FIGURA 4: ESEMPIO DI EDILIZIA IN CLIMI RIGIDI – CITTÀ DI TAMPERE (FINLANDIA)	5
FIGURA 5: STAZIONE DI RICERCA POLARE	6
FIGURA 6: RAPPORTO FRA CARICO DI PICCO E CARICO GIORNALIERO	13
FIGURA 7: ANDAMENTO ORARIO DEL CARICO AMBIENTE	14
FIGURA 8: FORMAZIONE DI CONDENSA E MUFFA IN CORRISPONDENZA DI UNA DISCONTINUITÀ DI TIPO GEOMETRICO	17
FIGURA 9: FORMAZIONE DI CONDENSA E MUFFA IN CORRISPONDENZA DELL'INTERSEZIONE DI DUE PARETI	17
FIGURA 10: ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE DETERMINATO CON IL METODO DEGLI ELEMENTI FINITI	18
FIGURA 11: PONTE TERMICO IN CORRISPONDENZA DEL PILASTRO	19
FIGURA 12: PONTE TERMICO IN CORRISPONDENZA DELLA TRAVE	19
FIGURA 13: TRASMISSIONE DI CALORE ATTRAVERSO I PONTI TERMICI	20
FIGURA 14: CALCOLO DEI PONTI TERMICI	21
FIGURA 15: CALCOLO DEI PONTI TERMICI	22
FIGURA 16: CALCOLO DEI PONTI TERMICI	23
FIGURA 17: CALCOLO DEI PONTI TERMICI	24
FIGURA 18: CALCOLO DEI PONTI	25
FIGURA 19: CALCOLO DEI PONTI TERMICI	26
FIGURA 20: PONTI TERMICI	26
FIGURA 21: PONTI TERMICI	27
FIGURA 22: PONTI TERMICI	28
FIGURA 23: PONTI TERMICI	29
FIGURA 24: ZONE DEL VENTO IN ITALIA	35
FIGURA 25: SCHEMA SEMPLIFICATO PROPOSTO DALLE UNI-10344 E 10348	36
FIGURA 26: RENDIMENTI DI EMISSIONE DI ALCUNI TERMINALI	42
FIGURA 27: ESEMPIO DI DISUNIFORMITÀ NELLA DISTRIBUZIONE DEL CALORE NEGLI AMBIENTI	42
FIGURA 28: EFFETTI DEI SISTEMI DI MONTAGGIO SUI RENDIMENTI DI EMISSIONE	43
FIGURA 29: CORRETTA INSTALLAZIONE DI UN RADIATORE	43
FIGURA 30: APPLICAZIONE DI DESTRATIFICATORI	44
FIGURA 31: RENDIMENTI DI REGOLAZIONE SECONDO LA UNI-10348	44
FIGURA 32: SCHEMA DELLA REGOLAZIONE DELLA TEMPERATURA AMBIENTALE	44
FIGURA 33: EFFETTI DELLA POSIZIONE DELLE TUBAZIONI SUL RENDIMENTO DI DISTRIBUZIONE	45
FIGURA 34: RENDIMENTO DI PRODUZIONE	45
FIGURA 35: GENERATORI SEPARATI PER RISCALDAMENTO E PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA	46
FIGURA 36: GENERATORE COMBINATO PER RISCALDAMENTO E ACQUA SANITARIA	46
FIGURA 37: FINESTRA DI TRASPARENZA DEL VETRO	49
FIGURA 38: NUOVI PARAMETRI DEL D.LGS. 192/05 PER EDIFICI E1 DAL 2010	52
FIGURA 39: : NUOVI PARAMETRI DEL D.LGS. 192/05 PER EDIFICI DIVERSI DA E1 DAL 2010	52
FIGURA 40: NUOVI PARAMETRI DEL D.LGS. 192/05 PER SOFFITTI, PAVIMENTI E VERSO LOCALI NON RISCALDATI	52
FIGURA 41: TRASMITTANZE PER LE CHIUSURE TRASPARENTI E PER I VETRI	53
FIGURA 42: CLASSIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI	60
FIGURA 43: ESEMPIO DI REGOLAMENTAZIONE PREMIALE PER LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA	61
FIGURA 44: SCALA DI VALUTAZIONE PER CASA CLIMA	62
FIGURA 45: SELEZIONE DEI CASSONETTI PER LE FINESTRE	62
FIGURA 46: SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO	63
FIGURA 47: BILANCIO ENERGETICO DI UN EDIFICIO	65
FIGURA 48: FLUSSI ENERGETICI PER LA UNI TS11300 PARTE 1 E 2.	70
FIGURA 49: TARGA ENERGETICA PROPOSTA IN LOMBARDIA	76
FIGURA 50: SCALA DI CLASSIFICAZIONE NAZIONALE	77
FIGURA 51: INDICATORE A CRUSCOTTO DELLA SCALA ENERGETICA NAZIONALE	78
FIGURA 52: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DELLA SCALA DI CLASSIFICAZIONE	78

FIGURA 53: CLASSIFICAZIONE PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARI	79
FIGURA 54: CLASSIFICAZIONE NAZIONALE PER PRESTAZIONE GLOBALE	79
FIGURA 55: SCHEMA DI CALCOLO PER IL RISCALDAMENTO INVERNALE	85
FIGURA 56: SCHEMA DI CALCOLO PER IL RAFFRESCAMENTO ESTIVO	85
FIGURA 57: SCHEMA GENERALE DEI FLUSSI ENERGETICI	86
FIGURA 58: IMPIANTI SINGOLI DI TIPO SPLIT IN UN EDIFICIO	90
FIGURA 59: DEFINIZIONE DEL CONFINE DELL'EDIFICIO	105
FIGURA 60: PUNTO DI FORNITURA DELLE ENERGIE RINNOVABILI ON SITE	106
FIGURA 61: STRUTTURE UTILIZZATE PER IL CASO ESEMPIO	219
FIGURA 62: CARICHI TERMICI DI PICCO	220
FIGURA 63: DATI CLIMATICI PER CATANIA	220
FIGURA 64: CARICO DINAMICO A GENNAIO	221
FIGURA 65: CARICO DINAMICO A FEBBRAIO	221
FIGURA 66: CARICO DINAMICO A MARZO	222
FIGURA 67: MODELLAZIONE STATICA	222
FIGURA 68: MODELLAZIONE DINAMICA	223
FIGURA 69: NUOVO MODELLO DI CALCOLO DINAMICO	223
FIGURA 70: ANDAMENTI STATISTICI DELLA TEMPERATURA E DELL'UMIDITÀ RELATIVA PER CATANIA	224
FIGURA 71: TEMPERATURE MEDIE IN SICILIA SECONDO UNI 10349	225
FIGURA 72: PROGRAMMA DI SIMULAZIONE TRNSYS	225
FIGURA 73: PROGRAMMA ENERGY PLUS CON DESIGN BUILDER	226
FIGURA 74: CAMERA TERMOGRAFICA	231
FIGURA 75: TERMOGRAMMA CON SCALA DI RIFERIMENTO DELLA TEMPERATURA	232
FIGURA 76: FATTORE DI TRASMISSIONE DELL'ATMOSFERA ALL'IR	232
FIGURA 77: RIPRESA CONTEMPORANEA DELLA TERMOGRAFIA E DELLA FOTOGRAFIA	235
FIGURA 78: INFLUENZA DEL VALORE DELL'EMISSIVITÀ SULLA TEMPERATURA MISURATA	235
FIGURA 79: NORMA UNI EN 13187	236
FIGURA 80: TERMOGRAFIA DI UNA FACCIATA	237
FIGURA 81: RILEVAMENTO DELL'UMIDITÀ MEDIANTE TERMOGRAFIA	237
FIGURA 82: EVIDENZIAMENTO DEI PONTI TERMICI IN UNA PARETE	238
FIGURA 83: ERRORE DOVUTO ALLA RADIAZIONE RIFLESSA	239
FIGURA 84: VISUALIZZAZIONE DI UN DIFETTO DI ISOLAMENTO	239
FIGURA 85: TERMOGRAFIA DI SUPERFICI VETRATE	239
FIGURA 86: SOVRAPPOSIZIONE DI UN'IMMAGINE TERMOGRAFICA E DI UNA FOTOGRAFICA	240
FIGURA 87: ESEMPIO DI VERIFICA DI ISOLAMENTO CON TERMOGRAFIA	240
FIGURA 88: IMMAGINE TERMOGRAFICA DELLE TUBAZIONI DI ACQUA CALDA	240
FIGURA 89: SCHEMATIZZAZIONE TERMO ELETTRICO DEL FLUSSO DI PARETE	242
FIGURA 90: POSIZIONAMENTO DELLE SONDE A CONTATTO	242
FIGURA 91: METODO DELLA RESISTENZA LAMINARE	243
FIGURA 92: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DELLE SONDE PER IL TERMO FLUSSIMETRO	243
FIGURA 93: ANDAMENTO TIPICO DEI DATI PER IL RILEVAMENTO DELLA TEMPERATURA INTERNA	244
FIGURA 94: ESEMPIO DI TETTO ROVESCIO CON GRANULATO ALL'ESTERNO	248
FIGURA 95: CONTROSOFFITTO INTERNO A PROTEZIONE DELL'ISOLANTE	248
FIGURA 96: ISOLAMENTO DI UN TETTO A FALDE NELL'ESTRADOSSO CON TETTO VENTILATO	249
FIGURA 97: INSERIMENTO DELL'ISOLANTE ALL'ESTERNO DELLA FALDA	249
FIGURA 98: POSIZIONAMENTO DI ISOLANTE TERMICO SULLA COPERTURA DI SOTTOTETTO	250
FIGURA 99: APPLICAZIONE DELL'ISOLAMENTO A CAPPOTTO E INTONACO ISOLANTE	250
FIGURA 100: APPLICAZIONE DI UNA FACCIATA VENTILATA	251
FIGURA 101: INSERIMENTO DI SCHIUMA POLIMERIZZANTE NELL'INTERCAPEDINE DI UNA PARETE.	251
FIGURA 102: APPLICAZIONE DI PANNELLI ISOLANTI ALL'INTERNO DELLE PARETI	252
FIGURA 103: ISOLAMENTO DEL CASSONETTO	253
FIGURA 104: TELAI I LEGNO O IN ALLUMINIO A TAGLIO TERMICO	253
FIGURA 105: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DI UN SERRAMENTO ESTERNO (DOPPIA FINESTRA)	254
FIGURA 106: SOSTITUZIONE DEL VETRO SEMPLICE CON VETROCAMERA BASSO EMISSIVO	254
FIGURA 107: TRASFORMAZIONE DI UNA VERANDA IN SERRA ADDOSSATA	255
FIGURA 108: APPLICAZIONE DI STRISCE RADIANTI A SOFFITTO	256
FIGURA 109: PANNELLI RADIANTI A PAVIMENTO	256
FIGURA 110: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEI PANNELLI RADIANTI IN UNA CHIESA	257

FIGURA 111: INSERIMENTO DI PANNELLI RADIANTI A PARETE	257
FIGURA 112: VALVOLE TERMOSTATICHE	259
FIGURA 113: SCHEMA DI UTILIZZO DI COLLETTORI SOLARI TERMICI	261
FIGURA 114: SCHEMA DI UTILIZZO DI PANNELLI FOTOVOLTAICI	261
FIGURA 115: INSERIMENTO DI PANNELLI FOTOVOLTAICI IN COPERTURE CLASSICHE A TEGOLE	262
FIGURA 116: ESEMPIO DI INSTALLAZIONE DI PALE EOLICHE AD ASSE VERTICALE, INTEGRATE ALLE STRUTTURE PRESENTI SU UN TERRAZZO.	262
FIGURA 117: DETTAGLIO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRATO IN COPERTURA	262
FIGURA 118: ANDAMENTO TIPICO DI UN CASH FLOW NELL'ARCO DI 15 ANNI CON ENTRATE VARIABILI INTERMEDIE	266
FIGURA 119: DETERMINAZIONE DEL TIR ($=I_0$)	266
FIGURA 120: PLANIMETRIA DELLA SCUOLA	274
FIGURA 121: SCHEMA DELLA CENTRALE TERMICA ESISTENTE PER IL RISCALDAMENTO	275
FIGURA 122: SCHEMA DELLA CENTRALE ESISTENTE PER ACS	275
FIGURA 123: INCIDENZA DEI SERRAMENTI DELLE STRUTTURE ESISTENTI	276
FIGURA 124: NUOVA VERIFICA ENERGETICA DELL'EDIFICIO CON GLI INTERVENTI IPOTIZZATI	276
FIGURA 125: INCIDENZA ECONOMICA DELLE IPOTESI DI INTERVENTO	277
FIGURA 126: FLUSSI DI CASSA E TEMPI DI RITORNO	277
FIGURA 127: ESEMPIO DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA	279
FIGURA 128: ESEMPIO DI INSERIMENTO DI SCHERMI MOBILI ESTERNI	279
FIGURA 129: ESEMPIO DI SCHERMATURA ESTERNA	280
FIGURA 130: RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DI UNA BIBLIOTECA	280
FIGURA 131: VISTE DELL'EDIFICIO POST-INTERVENTO	280
FIGURA 132: VISTA NOTTURNA DELL'EDIFICIO	281
FIGURA 133: ESEMPIO DI RICHIESTA DI DATI DI PROGETTO	284
FIGURA 134: ESEMPIO DI DATI CLIMATICI PER CATANIA	284
FIGURA 135: SELEZIONE DELLA LOCALITÀ PER I DATI CLIMATICI	285
FIGURA 136: DATI CLIMATICI DI PROGETTO.	286
FIGURA 137: ESEMPIO DI RIEPILOGO DEI CARICHI DEI SINGOLI AMBIENTI	288
FIGURA 138: ESEMPIO DI RIEPILOGO DEI CARICHI TERMICI DI UN EDIFICIO	289
FIGURA 139: ESEMPIO DI IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	290
FIGURA 140: PIANTA DI UN EDIFICIO SU CUI INSERIRE L'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	291
FIGURA 141: ESEMPIO DI DISPOSIZIONE DEI CORPI SCALDANTI E DELLE TUBAZIONI	292
FIGURA 142: POSIZIONAMENTO DELLE TUBAZIONE DIETRO IL BATTISCOPA	292
FIGURA 143: VISTA ASSONOMETRICA DI UNA DISTRIBUZIONE A COLLETTORE COMPLANARE	293
FIGURA 144: COPPIA DI COLLETTORI COMPLANARE DI MANDATA E DI RITORNO	293
FIGURA 145: ESEMPIO DI RETE DI DISTRIBUZIONE PER FAN COIL AD ANELLO	293
FIGURA 146: ESEMPIO DI CANNA FUMARIA MULTIPLA	295
FIGURA 147: SCHEMATIZZAZIONE DI UNA RETE DI CANALI D'ARIA	295
FIGURA 148: SCHEMA FUNZIONALE DI UN IMPIANTO AD ARIA	296
FIGURA 149: ESEMPIO DI POSIZIONE DI TERMINALI (BOCCHETTE DI MANDATA) E DI CANALI D'ARIA	296
FIGURA 150: SCHEMATIZZAZIONE DEL FUNZIONAMENTO DEGLI IMPIANTI AD ARIA	297
FIGURA 151: ESEMPIO DI SEZIONE DI PASSAGGIO DEI CANALI IN UN CORRIDOIO	298
FIGURA 152: ESEMPIO DI DEVIAZIONE DEI UN CANALE PER LA PRESENZA DI UNA TRAVE A SPESSORE	298
FIGURA 153: RESTRINGIMENTO DEI CANALI PER LO SCAVALCAMENTO DI TRAVI A TAGLIO	298
FIGURA 154: SCHEMA UNIFILARE DI UNA RETE DI DISTRIBUZIONE DELL'ARIA	299
FIGURA 155: ESEMPIO DI POSIZIONAMENTO IN COPERTURA DELLE UTA CON CANALI CHE DISCENDONO ESTERNAMENTE	299
FIGURA 156: UTA COMPATTA PER INSTALLAZIONE A SOFFITTO SEMPLICE O A SEZIONI MULTIPLE	301
FIGURA 157: CENTRALE DI TRATTAMENTO ARIA	302
FIGURA 158: RETE DI CANALI PER L'ARIA PRIMARIA IN AGGIUNTA AI FAN COIL DEL CASO PRECEDENTE	303
FIGURA 159: SCHEMATIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI MISTI ACQUA – ARIA	304
FIGURA 160: CARATTERISTICHE GENERALI DEI FAN COIL DI UN COSTRUTTORE	305
FIGURA 161: CARATTERISTICHE GENERALI DEI FAN COIL DI UN ALTRO COSTRUTTORE	305
FIGURA 162: ESEMPIO DI UN DATA SHEET PER LA SELEZIONE DELLE POMPE DI CALORE	306
FIGURA 163: SELEZIONE DELLE DIFFERENZA DI TEMPERATURA DI PROGETTO	308
FIGURA 164: ESEMPIO DI SCHEMATIZZAZIONE DI UNA RETE DI DISTRIBUZIONE A COLLETTORI COMPLANARI	309
FIGURA 165: DATI RELATIVI AL DIMENSIONAMENTO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	310
FIGURA 166: SPESSORI DEGLI ISOLANTI DELLE TUBAZIONI	311

FIGURA 167: SCHEMA DI ISOLAMENTO DELLE TUBAZIONI	311
FIGURA 168: ESEMPIO DI RETE DI DISTRIBUZIONE DELL'ARIA DIMENSIONATA	312
FIGURA 169: ESEMPIO DI RETE A COLLETTORI COMPLANARI DIMENSIONATA	312
FIGURA 170: SCHEMA DI INSTALLAZIONE DI UN GENERATORE TERMICO	313
FIGURA 171: ESEMPI DI SIMBOLI GRAFICI PER I DISEGNI ESECUTIVI	313
FIGURA 172: USO DI CAD PER IL PROGETTO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	314
FIGURA 173: ESEMPIO DI USO DI CAD TERMOTECNICI	314
FIGURA 174: SCHEMA DI PRINCIPIO DI UNA CALDAIA A CONDENSAZIONE	332
FIGURA 175: SCHEMA DI UNA CALDAIA A CONDENSAZIONE	332
FIGURA 176: CONFRONTO DELLE PERDITE DI ENERGIA FRA DIFFERENTI TIPI DI GENERATORI	333
FIGURA 177: PUNTO DI RUGIADA DEI FUMI DI METANO	333
FIGURA 178: SPACCATO DI UNA CALDAIA A CONDENSAZIONE	333
FIGURA 179: SCHEMA LOGICO DI UNA CALDAIA A CONDENSAZIONE	334
FIGURA 180: SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DELLA CALDAIA A CONDENSAZIONE	334
FIGURA 181: CAMERA DI COMBUSTIONE DI UNA CALDAIA A TEMPERATURA SCORREVOLE	335
FIGURA 182: TUBI DI FUMO PER CALDAIA A TEMPERATURA SCORREVOLE	336
FIGURA 183: ESEMPI DI DATI TECNICI DI UNA CALDAIA A TEMPERATURA SCORREVOLE	336
FIGURA 184: RENDIMENTO DI UNA CALDAIA A TEMPERATURA SCORREVOLE	337
FIGURA 185: SEZIONE DI UNA CALDAIA A TEMPERATURA SCORREVOLE	337
FIGURA 186: CONFRONTO FRA RENDIMENTI DEI DIVERSI TIPI DI CALDAIA	337
FIGURA 187: DISTRIBUZIONE DELLA TEMPERATURA	338
FIGURA 188: SCHEMA DI UNA MODERNA CALDAIA A TRE PASSAGGI DI FUMI	338
FIGURA 189: SISTEMA TERMODINAMICO DI UN GENERATORE	338
FIGURA 190: BILANCIO ENERGETICO PER UN GENERATORE	340
FIGURA 191: SCHEMA DI UNA CALDAIA ALIMENTATA A GASOLIO PER FLUIDI DIATERMICI	344
FIGURA 192: ESEMPIO DI CENTRALE TERMICA CON GENERATORI AD OLIO DIATERMICO	344
FIGURA 193: ESEMPIO DI CALDAIA A MANTELLO IN ACCIAIO	345
FIGURA 194: ELEMENTO DI UNA CALDAIA IN GHISA	345
FIGURA 195: CALDAIA MURALE A GAS – CONFIGURAZIONE CHIUSA E APERTA	346
FIGURA 196: SCHEMA FUNZIONALE DI UNA CALDAIA MURALE A GAS	346
FIGURA 197: TIPOLOGIE DI BIOMASSA	348
FIGURA 198: CICLO DELLA CO ₂ PER LE BIOMASSE	348
FIGURA 199: FUNZIONAMENTO DI UNA CALDAIA A LEGNA	349
FIGURA 200: INSTALLAZIONE DI UNA CALDAIA A BIOMASSA	349
FIGURA 201: Sonda LAMBDA	350
FIGURA 202: INSTALLAZIONE DEL CAMINO PER CALDAIA A BIOMASSA	350
FIGURA 203: FUNZIONAMENTO DI UNA CALDAIA A PELLETS	351
FIGURA 204: CORRETTA INSTALLAZIONE DI CALDAIE MODULARI	352
FIGURA 205: NON CORRETTA INSTALLAZIONE DELLE CALDAIE MODULARI	353
FIGURA 206: ESEMPIO DI BRUCIATORE	354
FIGURA 207: REGOLAZIONE MONOSTADIO ON-OFF	355
FIGURA 208: ESEMPIO DI BRUCIATORE MONOSTADIO	355
FIGURA 209: ESEMPIO DI DATI DI TARGA DI UN BRUCIATORE MONOSTADIO	355
FIGURA 210: ESEMPIO DI CAMPI DI LAVORO DI BRUCIATORI MONOSTADIO	356
FIGURA 211: REGIME BISTADIO 50 ÷ 100%	356
FIGURA 212: ESEMPIO DI DATI DI TARGA DI UN BRUCIATORE BISTADIO	356
FIGURA 213: ESEMPI DI CAMPI DI LAVORO DI BRUCIATORI BISTADIO	357
FIGURA 214: ESEMPIO DI BRUCIATORE MODULANTE	357
FIGURA 215: SCHEMA DI PRINCIPIO DELLA REGOLAZIONE DI UN BRUCIATORE	357
FIGURA 216: REGIME MODULANTE FRA 50 E 100%	358
FIGURA 217: SCHEMI DI INSTALLAZIONE DEI BRUCIATORI A GASOLIO	358
FIGURA 218: SCHEMA DI INSTALLAZIONE DEI BRUCIATORI A GAS	359
FIGURA 219: ESEMPIO DI CATALOGO COMMERCIALE PER BRUCIATORI DI BASSA POTENZA	359
FIGURA 220: SISTEMA GENERATORE – CAMINO	360
FIGURA 221: SISTEMA GENERATORE – CAMINO	361
FIGURA 222: CIRCUITO DEI FUMI PRESSURIZZATO	362
FIGURA 223: CIRCUITO DEI FUMI DEPRESSURIZZATO	362
FIGURA 224: CIRCUITO DEI FUMI EQUILIBRATO	363

FIGURA 225: SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DEL CAMINO	363
FIGURA 226: TIRAGGIO STATICO IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DEI FUMI	364
FIGURA 227: TIRAGGIO NEL SISTEMA GENERATORE – CAMINO	364
FIGURA 228: SCHEMA DI FUNZIONAMENTO PER TIRAGGIO FORZATO	366
FIGURA 229: ABACO PER LA SELEZIONE DEI CAMINI COMMERCIALI IN ACCIAIO	366
FIGURA 230: ESEMPIO D'USO DEL CAD PER I CAMICI	367
FIGURA 231: STIMA DELLE SEZIONI PER UN CAMINO	368
FIGURA 232: SELEZIONE DI UNA CALDAIA PER IL PROGETTO DEI CAMINI	368
FIGURA 233: SELEZIONE DELLE OPZIONI PER IL PROGETTO DEI CAMINI	369
FIGURA 234: VERIFICA DEI DATI DI CALCOLO	369
FIGURA 235: DISPOSIZIONE CORRETTE DI UNA CANNA FUMARIA	370
FIGURA 236: BRUCIATORE ATMOSFERICO	371
FIGURA 237: BRUCIATORE AD ARIA SOFFIATA	371
FIGURA 238: SCHEMA DI UNA CENTRALE TERMICA COMPLETA	373
FIGURA 239: SCHEMA COMPLETO DI UNA CENTRALE TERMICA SECONDO DM 1.12.1975	373
FIGURA 240: CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DELLE CENTRALI TERMICHE	374
FIGURA 241: PRESCRIZIONI PER LE CENTRALI TERMICHE	375
FIGURA 242: SCHEMA DI CENTRALE CON COLLETTORI DI MANDATA E RITORNO	376
FIGURA 243: SCHEMI DI CENTRALE CON BOLLITORE AD ACCUMULO	376
FIGURA 244: SCHEMA DI CENTRALE CON VASO CHIUSO E SINGOLO CIRCUITO DI UTENZA	377
FIGURA 245: SCHEMA DI CENTRALE CON CALDAIA A GAS – VASO CHIUSO E COLLETTORI DI MANDATA E RITORNO	377
FIGURA 246: CICLO INVERSO PER LA POMPA DI CALORE	379
FIGURA 247: CICLO DI CARNOT INVERSO	379
FIGURA 248: SCHEMA DI UNA MACCHINA FRIGORIFERA E/O DI UNA POMPA DI CALORE	380
FIGURA 249: CICLO FRIGORIFERO A COMPRESSIONE DI VAPORE SATURO NEL PIANO (H,P)	380
FIGURA 250: CICLO FRIGORIFERO CON SOTTORAFFREDDAMENTO	380
FIGURA 251: CICLO FRIGORIFERO CON SOTTORAFFREDDAMENTO NEL PIANO (H,P)	381
FIGURA 252: SCHEMA IMPIANTISTICO DI UN CICLO FRIGORIFERO A VAPORI SATURI	381
FIGURA 253: ASSONOMETRIA DI UNA POMPA DI CALORE DEL TIPO ACQUA - ACQUA	381
FIGURA 254: ANDAMENTO DELLA POTENZA E COP AL VARIARE DELLA TEMPERATURA ESTERNA	382
FIGURA 255: NUOVA ETICHETTATURA DEI REFRIGERATORI E POMPE DI CALORE	383
FIGURA 256: DATA SHEET DI UNA MODERNA POMPA DI CALORE CON L'INDICAZIONE DELLO SCOP	384
FIGURA 257: FUNZIONAMENTO ESTIVO DI UN CICLO FRIGORIFERO REVERSIBILE	386
FIGURA 258: FUNZIONAMENTO INVERNALE DI UN CICLO FRIGORIFERO REVERSIBILE	386
FIGURA 259: LAYOUT IMPIANTISTICO DI UN REFRIGERATORE IN FUNZIONAMENTO ESTIVO	387
FIGURA 260: LAYOUT IMPIANTISTICO DI UN REFRIGERATORE IN FUNZIONAMENTO ESTIVO	388
FIGURA 261: LAYOUT IMPIANTISTICO PER UNA POMPA DI CALORE- STAGIONE INVERNALE	388
FIGURA 262: SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DELLA POMPA DI CALORE	388
FIGURA 263: SCHEMA DI IMPIANTO DI UNA POMPA DI CALORE ED UNA CALDAIA DI INTEGRAZIONE	389
FIGURA 264: PUNTO DI EQUILIBRIO E TEMPERATURA BIVALENTE	389
FIGURA 265: VARIAZIONE DEL PUNTO DI EQUILIBRIO AL VARIARE DELLA TEMPERATURA DI POZZO CALDO	390
FIGURA 266: VARIAZIONE DEL RAPPORTO COP/CO _{PNOMINALE}	390
FIGURA 267: RECUPERO DI CALORE DELL'ARIA DI ESPULSIONE	391
FIGURA 268: RECUPERO DI CALORE DELL'ARIA DI ESPULSIONE PER RISCALDAMENTO E ACS	391
FIGURA 269: ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA DEL TERRENO A VARIE PROFONDITÀ	392
FIGURA 270: SCHEMA IMPIANTISTICO DI UNA POMPA DI CALORE GEOTERMICA	392
FIGURA 271: ANDAMENTO DELLO SCOP PER VARIE ZONE CLIMATICHE	393
FIGURA 272: RIDUZIONE DELL'EER PER LA PRODUZIONE DI ACS	393
FIGURA 273: CONVENIENZA DELLE PdC RISPETTO ALLE CALDAIE TRADIZIONALI	394
FIGURA 274: ESEMPIO DI IMPIANTO A POMPA DI CALORE CON DISTRIBUZIONE AD ARIA	395
FIGURA 275: REGIMI DI FUNZIONAMENTO IN FREE COOLING	397
FIGURA 276: VISTA DELL'INTERNO DI UN REFRIGERATORE REVERSIBILE COMPLETO DI VASO DI ESPANSIONE E POMPE DI CIRCOLAZIONE	397
FIGURA 277: DISTANZE MINIME DI MONTAGGIO DI UN REFRIGERATORE	398
FIGURA 278: SCHEMA DI UNA MACCHINA AD ASSORBIMENTO	400
FIGURA 279: CICLO DI MACCHINA AD ASSORBIMENTO AD ACQUA E BR/LI	400
FIGURA 280: ESEMPIO DI POMPA DI CALORE AD ASSORBIMENTO ALIMENTATA A GAS	401
FIGURA 281: DATI NOMINALI DI UNA POMPA DI CALORE AD ASSORBIMENTO ALIMENTATA A GAS	401

FIGURA 282: ESEMPI DI INSTALLAZIONE DI UNA POMPA DI CALORE A GAS	402
FIGURA 283: MACCHINA AD ASSORBIMENTO COMMERCIALE	402
FIGURA 284: CONFRONTO FRA CICLO A COMPRESSORE E AD ASSORBIMENTO	402
FIGURA 285: POMPA DI CIRCOLAZIONE	403
FIGURA 286: CURVE CARATTERISTICHE DI UNA POMPA DI CIRCOLAZIONE	404
FIGURA 287: ESEMPIO DI CENTRALE TERMICA CON COLLETTORI DI CENTRALE	405
FIGURA 288: ESEMPI DI COLLETTORI DI CENTRALE	405
FIGURA 289: SITUAZIONE DEI CIRCUITI A POMPE FERME	406
FIGURA 290: SITUAZIONE CON UNA POMPA ATTIVA	406
FIGURA 291: SITUAZIONE CON DUE POMPE ATTIVE	407
FIGURA 292: SITUAZIONE CON SEPARATORE IDRAULICO	408
FIGURA 293: SEPARATORE IDRAULICO	408
FIGURA 294: SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DI UN SEPARATORE IDRAULICO	409
FIGURA 295: FUNZIONE DI SEPARAZIONE IN FUNZIONE DELLE PORTATE	409
FIGURA 296: ESEMPIO DI UNITÀ DI TRATTAMENTO ARIA	410
FIGURA 297: ESEMPIO DI SEZIONE DI UN'UTA	411
FIGURA 298: SEZIONE DI UN'UTA CON RECUPERATORE DI CALORE	411
FIGURA 299: ABACO DI SELEZIONE DELL'UTA E DEI SUOI COMPONENTI INTERNI	412
FIGURA 300: ABACO DI SELEZIONE DI UN'UTA	413
FIGURA 301: VISTA DELLE BATTERIE DI SCAMBIO ALL'INTERNO DELL'UTA	414
FIGURA 302: ABACO DI SELEZIONE DELLE BATTERIE CALDE	414
FIGURA 303: CURVE CARATTERISTICHE DI UN VENTILATORE DI MANDATA	415
FIGURA 304: SCHEMA DI COLLEGAMENTO DI UN TERMINALE	417
FIGURA 305: ESEMPIO DI INSTALLAZIONE DI UN RADIATORE	417
FIGURA 306: VALVOLA TERMOSTATICA PER RADIATORE	417
FIGURA 307: VALVOLA DI SFIATO D'ARIA AUTOMATICO PER RADIATORE	417
FIGURA 308: DATI CARATTERISTICI PER RADIATORI IN ALLUMINIO	419
FIGURA 309: POTENZA SPECIFICA MASSIMA DI UN PANNELLO RADIANTE	420
FIGURA 310: SISTEMI A PANNELLI RADIANTI	422
FIGURA 311: SCHEMA DI POSA DEI PANNELLI RADIANTI	422
FIGURA 312: ESEMPIO DI GIUNTO PER PAVIMENTI RADIANTI	422
FIGURA 313: SCHEMA TIPO DI MONTAGGIO DI UN PANNELLO RADIANTE	423
FIGURA 314: ESEMPIO DI APPLICAZIONE IN CIVILI ABITAZIONI DEI PANNELLI RADIANTI	423
FIGURA 315: ESEMPIO DI IMPIANTI RADIANTI IN APPARTAMENTI	424
FIGURA 316: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEI PANNELLI RADIANTI IN UNA CHIESA	424
FIGURA 317: ESEMPIO DI UTILIZZO DEI COLLETTORI COMPLANARI PER PANNELLI RADIANTI	425
FIGURA 318: COLLETTORE COMPLANARE PER PAVIMENTO RADIANTE	425
FIGURA 319: DISTRIBUZIONE DELLA TEMPERATURA CON I PANNELLI RADIANTI	425
FIGURA 320: CONFRONTO FRA LA DISTRIBUZIONE CONVETTIVA E QUELLA DEI PANNELLI RADIANTI	426
FIGURA 321: PARAMETRI RICHIESTI PER IL PROGETTO DEI PAVIMENTI RADIANTI	427
FIGURA 322: FATTORI CORRETTIVI NEL PROGETTO DEI PAVIMENTI RADIANTI	428
FIGURA 323: INDICAZIONE DELLE TEMPERATURE IN GIOCO PER LA MEDIA LOGARITMICA	428
FIGURA 324: FATTORE F_p	429
FIGURA 325: FATTORE A_i	429
FIGURA 326: VALORI DI A_m	430
FIGURA 327: VALORI DI A_D	430
FIGURA 328: CONDUCIBILITÀ TERMICA DI ALCUNI PAVIMENTI	430
FIGURA 329: SCHEMA MISTO PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO A PANNELLI RADIANTI	431
FIGURA 330: RESA TERMICA DI UN PAVIMENTO RADIANTE CON PARQUET PER RAFFRESCAMENTO	431
FIGURA 331: RESA TERMICA DI UN PAVIMENTO CON PIASTRELLE RADIANTE PER RAFFRESCAMENTO	432
FIGURA 332: ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA INTERNA CON RAFFRESCAMENTO A PANNELLI RADIANTI	432
FIGURA 333: SCHEMA DELLA CENTRALINA DI REGOLAZIONE PER PANNELLI RADIANTI	433
FIGURA 334: CURVE DI REGOLAZIONE PER PAVIMENTI RADIANTI	433
FIGURA 335: SEZIONE DI UNA VALVOLA TERMOSTATICA	435
FIGURA 336: VALVOLA TERMOSTATICA E RIPARTITTORE MONTATI SU UN RADIATORE.	435
FIGURA 337: VASO DI ESPANSIONE APERTO	438
FIGURA 338: ESEMPIO DI INSTALLAZIONE DI UN VASO DI ESPANSIONE APERTO	438
FIGURA 339: VASO APERTO IN UN IMPIANTO CON CALDAIA E REFRIGERATORE D'ACQUA	438

FIGURA 340: VASO APERTO ASSERVITO A DUE GENERATORI DI CALORE	439
FIGURA 341: VASO DI ESPANSIONE CHIUSO A MEMBRANA	440
FIGURA 342: VASO CHIUSO PRESSURIZZATO SENZA MEMBRANA	441
FIGURA 343: ESEMPIO DI VASO DI ESPANSIONE CHIUSO	441
FIGURA 344: INSTALLAZIONE DI UN VASO CHIUSO	442
FIGURA 345: STRUMENTAZIONE DI SICUREZZA PER IL VASO CHIUSO	442
FIGURA 346: ESEMPIO DI VALVOLA DI SICUREZZA	443
FIGURA 347: GRUPPO POLIVALENTE DI SICUREZZA, SFIATO ARIA E CARICAMENTO	443
FIGURA 348: SEZIONE DI UNA VALVOLA DI SICUREZZA	444
FIGURA 349: VALVOLA DI SICUREZZA DI TIPO INDUSTRIALE	444
FIGURA 350: DIAMETRI DI ATTACCO DELLE VALVOLE DI SICUREZZA	444
FIGURA 351: FOTO ESEMPIO DI INSTALLAZIONE DEL VASO CHIUSO E DELLA VALVOLA DI SICUREZZA	445
FIGURA 352: VALVOLA DI SCARICO TERMICO	446
FIGURA 353: MONTAGGIO DI UNA VALVOLA DI SICUREZZA	446
FIGURA 354: INSTALLAZIONE DI UNA VALVOLA DI SICUREZZA IN UN BOLLITORE D'ACQUA	447
FIGURA 355: SEZIONE DI UNA VALVOLA DI SCARICO TERMICO	447
FIGURA 356: ABACO DI SELEZIONE DI UNA VALVOLA DI SCARICO TERMICO	447
FIGURA 357: INDICAZIONI SULL'INSTALLAZIONE DELLA VALVOLA DI SCARICO TERMICO	448
FIGURA 358: SCHEMI DI INSTALLAZIONE DELLA VALVOLA DI SCARICO TERMICO	448
FIGURA 359: SCHEMI DI COLLEGAMENTO ELETTRICO DELLA VALVOLA DI SCARICO TERMICO	448
FIGURA 360: VALVOLE DI INTERCETTAZIONE COMBUSTIBILE FILETTATA E FLANGIATA	449
FIGURA 361: SEZIONE DI UNA VALVOLA DI INTERCETTAZIONE DEL COMBUSTIBILE	449
FIGURA 362: ABACHI DI SELEZIONE DELLA VALVOLE DI INTERCETTAZIONE COMBUSTIBILE	450
FIGURA 363: INSTALLAZIONE DI UNA VALVOLA DI INTERCETTAZIONE DEL COMBUSTIBILE	451
FIGURA 364: CATALOGO TECNICO PER VALVOLA DI INTERCETTAZIONE DEL COMBUSTIBILE	451
FIGURA 365: CORRETTA INSTALLAZIONE DELLA VALVOLA DI INTERCETTAZIONE	451
FIGURA 366: SPACCATO DI UN MODERNO SISTEMA SPLIT	452
FIGURA 367: IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE TIPO SPLIT	453
FIGURA 368: SISTEMA SPLIT CON CANALIZZAZIONE INTERNA	453
FIGURA 369: SCHEMA DI INSTALLAZIONE DI SISTEMI SPLIT IN UN EDIFICIO	454
FIGURA 370: DATA SHEET PER LA SELEZIONE DI UNITÀ SPLIT	455
FIGURA 371: SCHEMA COSTRUTTIVO DI UN VENTILCONVETTORE	458
FIGURA 372: VISTA DELL'INTERNO DI UN VENTILCONVETTORE – BATTERIA DI SCAMBIO E VENTILATORE	458
FIGURA 373: DATI DI TARGA DI UN VENTILCONVETTORE	459
FIGURA 374: PORTATE DI ACQUA NOMINALI DI UN VENTILCONVETTORE	459
FIGURA 375: BOCCHETTA DI MANDATA DELL'ARIA CON ALETTE IN ALLUMINIO	463
FIGURA 376: TIPOLOGIE DI DIFFUSORI	463
FIGURA 377: COMPONENTI DELLE BOCCHETTE DI MANDATA	464
FIGURA 378: SEZIONE DI UN DIFFUSORE	464
FIGURA 379: ABACO DI SELEZIONE DI UNA BOCCHETTA DI MANDATA	465
FIGURA 380: ESEMPIO DI LANCIO L _T	465
FIGURA 381: FUNZIONAMENTO DI UN RECUPERATORE DI CALORE	467
FIGURA 382: SCHEMA DEI FLUSSI INCROCIATI	467
FIGURA 383: PRESTAZIONI DI UN RECUPERATORE DI CALORE	468
FIGURA 384: VISTA INTERNA DI UN RECUPERATORE DI CALORE	468
FIGURA 385: PERDITE DI CARICO DI UN RECUPERATORE DI CALORE	468
FIGURA 386: VISTA DI UN RECUPERATORE DI CALORE ALL'INTERNO DELL'UTA	469
FIGURA 387: DATI GENERALI PER LA DICHIARAZIONE ISPESL	493
FIGURA 388: DATI PER IL MODULO RD	493
FIGURA 389: DATI PER IL MODULO RR	494
FIGURA 390: ESEMPIO DI MASCHERA DI SELEZIONE DEI DATI DEL GENERATORE	494
FIGURA 391: ESEMPIO DI DATI PER GENERATORE	494
FIGURA 392: DIMENSIONAMENTO DEL VASO CHIUSO, MODULO RR1	495
FIGURA 393: ESEMPIO DI SOFTWARE DI SELEZIONE E PROGETTO DI COMPONENTI DI SICUREZZA ISPESL	495
FIGURA 394: MASCHERA DI SELEZIONE E PROGETTO DI UN VASO CHIUSO	496
FIGURA 395: SELEZIONE DI UN VASO CHIUSO DA UN DATA BASE COMMERCIALE	496
FIGURA 396: SELEZIONE DI UNA VALVOLA DI SICUREZZA DA UN DATA BASE COMMERCIALE	497
FIGURA 397: MASCHERA DI SELEZIONE E PROGETTO DI UNA VALVOLA DI SICUREZZA	497

FIGURA 398: MASCHERA DI SELEZIONE DELLA VALVOLA DI INTERCETTAZIONE DEL COMBUSTIBILE	498
FIGURA 399: MASCHERA SI SELEZIONE DI UNA VALVOLA DI INTERCETTAZIONE COMBUSTIBILE DA DATA BASE	498
FIGURA 400: VISUALIZZAZIONE DEI COMPONENTI DI SICUREZZA ISPESL	498
FIGURA 401: ESEMPIO DI SCHEMA CENTRALE PER DICHIARAZIONE ISPESL	499
FIGURA 402: MASCHERA DI INPUT DEI DATI GENERALI PER LA DICHIARAZIONE ISPESL	499
FIGURA 403: USO DI EXCEL PER LA DICHIARAZIONE ISPESL	500
FIGURA 404: MODELLO RD DELLA DICHIARAZIONE ISPESL	501
FIGURA 405: MASCHERA PER L'INPUT DEI GENERATORI	502
FIGURA 406: MASCHERA DI INPUT PER LA RELAZIONE ISPESL	502
FIGURA 407: MASCHERA DI INPUT PER VASO DI ESPANSIONE CHIUSO	503
FIGURA 408: MASCHERA PER L'ELENCO DEI CIRCUITI DI IMPIANTO	503
FIGURA 409: MASCHERA DI CALCOLO DEL VASO CHIUSO DI UN CIRCUITO	504
FIGURA 410: MASCHERA DI CALCOLO DEL VASO CHIUSO DI UN CIRCUITO – VALORI CALCOLATI	504
FIGURA 411: MASCHERA PER LA RICHIESTA DI VERIFICA IMPIANTO ALL'ISPESL	505
FIGURA 412: MASCHERA DI INPUT PER I DATI INTEGRATIVI DI CALCOLO	505
FIGURA 413: TABELLA DEI DIAMETRI INTERNI DELLE TUBAZIONI DI SICUREZZA	506
FIGURA 414: TABELLA DI ARCHIVIO DI VASI DI ESPANSIONE	506
FIGURA 415: TABELLA DELLE VALVOLE DI SICUREZZA	507
FIGURA 416: TABELLA DELLE VALVOLE DI INTERCETTAZIONE COMBUSTIBILE	507
FIGURA 417: TABELLA DELLE VALVOLE DI SCARICO TERMICO	507
FIGURA 418: SIMBOLI PER IMPIANTI TERMOTECNICI	508
FIGURA 419: SIMBOLI PER IMPIANTI TERMOTECNICI	509
FIGURA 420: SIMBOLI PER IMPIANTI TERMOTECNICI	510
FIGURA 421: SIMBOLI PER IMPIANTI TERMOTECNICI	511
FIGURA 422: SIMBOLI PER IMPIANTI TERMOTECNICI	512
FIGURA 423: SIMBOLI PER IMPIANTI TERMOTECNICI	512
FIGURA 424: SIMBOLI PER IMPIANTI TERMOTECNICI	513
FIGURA 425: SIMBOLI PER IMPIANTI TERMOTECNICI	514
FIGURA 426: SIMBOLI PER IMPIANTI TERMOTECNICI	515
FIGURA 427: SIMBOLI PER IMPIANTI TERMOTECNICI	515

ELENCO DELLE TABELLE

TABELLA 1: MAGGIORAZIONI PER ORIENTAMENTO	16
TABELLA 2: NUMERO DI RICAMBI ORARI CONSIGLIATO	17
TABELLA 3: DEFINIZIONE DELLE ZONE CLIMATICHE	20
TABELLA 4: CD MASSIMI PREVISTI DAL DPR 412/93	30
TABELLA 5: PERIODO CONVENZIONALE DI RISCALDAMENTO	32
TABELLA 6: CLASSIFICAZIONE DEGLI EDIFICI	34
TABELLA 7: VALORI MEDI DEGLI APPORTI GRATUITI	37
TABELLA 8: FATTORI DI CORREZIONE PER I COLORI	38
TABELLA 9: FATTORI DI UTILIZZAZIONE	38
TABELLA 10: FATTORI DI TRASMISSIONE PER LE TIPOLOGIE DI VETRI	38
TABELLA 11: MASSE EFFICACI PER IL CALCOLO DELLA COSTANTE DI TEMPO DELL'EDIFICIO	40
TABELLA 12: RENDIMENTI DI EMISSIONE	41
TABELLA 13: RENDIMENTI DI REGOLAZIONE	41
TABELLA 14: RENDIMENTI UTILI DEI GENERATORI DI CALORE	47
TABELLA 15: VALORI DEL EP _{CI}	54
TABELLA 16: TIPOLOGIA DI VALUTAZIONE ENERGETICA	68
TABELLA 17: DURATA DELLA STAGIONE DI RISCALDAMENTO	71
TABELLA 18: CLASSI ENERGETICHE PER LA LOMBARDIA PER EDIFICI E1	75
TABELLA 19: CLASSI ENERGETICHE PER LA LOMBARDIA PER EDIFICI NON E1	75
TABELLA 20: INTERVENTI MIGLIORATIVI NEL CERTIFICATO ENERGETICO DELLA LOMBARDIA	76
TABELLA 21: CLASSIFICAZIONE EP _{E,INV} PER TUTTE LE DESTINAZIONI D'USO	80
TABELLA 22: CLASSIFICAZIONE IN BASE A PARAMETRI S E F _A	81
TABELLA 23: CLASSIFICAZIONE DEI EDIFICI PER DESTINAZIONE D'USO	87
TABELLA 24: VALORI LIMITI DELL'INDICE EP _i PER EDIFICI RESIDENZIALI - ANNO 2010	87
TABELLA 25: VALORI LIMITI DELL'INDICE EP _i PER EDIFICI NON RESIDENZIALI - ANNO 2010	87
TABELLA 26: CLASSIFICAZIONE PER CLIMATIZZAZIONE ESTIVA	88
TABELLA 27: CLASSIFICAZIONE IN BASE AI PARAMETRI QUALITATIVI	88
TABELLA 28: VALORI LIMITI DELLE TRASMITTANZE PER ELEMENTI OPACHI E VETRATI.	89
TABELLA 29: SIMBOLI PER UNITÀ DI MISURA	101
TABELLA 30: PROSPETTO DEI PEDICI	102
TABELLA 31: PROSPETTO INDICATO DALLA RACCOMANDAZIONE 09/2012	103
TABELLA 32: FATTORI DI ENERGIA PRIMARIA DEI VETTORI ENERGETICI DELLA R. 14/13 CTI	107
TABELLA 33: FATTORI DI ENERGIA PRIMARIA DELL'ENERGIA ELETTRICA ESPORTATA	107
TABELLA 34: CALCOLO DELLA SUPERFICIE DI PANNELLI FV PER VARIE IPOTESI	214
TABELLA 35: CALCOLO DELLA SUPERFICIE DI PANNELLI FV PER VARIE IPOTESI MA CON EP _{ILL} =0	215
TABELLA 36: CALCOLO DELLA SUPERFICIE DI PANNELLI FV PER VARIE IPOTESI CON RAFFRESCAMENTO	216
TABELLA 37: VALORI DI EMISSIVITÀ DI ALCUNI CORPI	230
TABELLA 38: RESISTENZA TERMICHE SUPERFICIALI (M ² K/W)	243
TABELLA 39: CONFRONTO DEI COSTI ENERGETICI DEGLI EDIFICI	245
TABELLA 40: INCIDENZA DEI DISPERDIMENTI PER UN RISTORANTE	246
TABELLA 41: RIEPILOGO DEI DISPERDIMENTI PER UN ALBERGO	246
TABELLA 42: TEMPI DI VITA DI ALCUNI INTERVENTI	271
TABELLA 43: IMPIANTI ALL'INTERNO DI UN EDIFICIO	287
TABELLA 44: LOCALIZZAZIONE DELLE CENTRALI TERMICHE	294
TABELLA 45: CLASSIFICAZIONE DEI CANALI PER L'ARIA	300
TABELLA 46: VELOCITÀ MASSIME CONSIGLIATE, IN M/S, PER L'ARIA NEI CANALI	301
TABELLA 47: PERTITE DI CARICO NEI COMPONENTI INTERNI DELLE UTA	303
TABELLA 48: ABACO PER IL CALCOLO DELLE PERDITE SPECIFICHE NELLE TUBAZIONI D'ACQUA	310
TABELLA 49: CODIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI SECONDO LA UNI 10339	317
TABELLA 50: FUNZIONI SVOLTE PER TIPOLOGIE DI IMPIANTI	318
TABELLA 51: MAGGIORAZIONE DELLE DISPERSIONI PER ORIENTAMENTO	321
TABELLA 52: CARATTERISTICHE ENERGETICHE ED ECONOMICHE DELLE BIOMASSE	348
TABELLA 53: DATA SHEET PER CALDAIE A BIOMASSA	351
TABELLA 54: DATI CARATTERISTICI PER UNA CALDAIA IN ACCIAIO	354
TABELLA 55: DIMENSIONI MINIME CONSIGLIATE PER LE CENTRALI TERMICHE	372

TABELLA 56: CONDIZIONI DI RIFERIMENTO PER UNA POMPA DI CALORE PER RISCALDAMENTO	382
TABELLA 57: DATI TECNICI RELATIVI AI REFRIGERATORI D'ACQUA (E/O POMPE DI CALORE)	385
TABELLA 58: TABELLA DI SELEZIONE DI UN'UTA	413
TABELLA 59: ESEMPIO DI DATI PER RADIATORI COMMERCIALI	418
TABELLA 60: MASSA VOLUMICA PER L'ACQUA A DIVERSE TEMPERATURE	437
TABELLA 61: COEFFICIENTE DI DILATAZIONE VOLUMICA PER L'ACQUA	437
TABELLA 62: COEFFICIENTI DI DILATAZIONE AL VARIARE DELLA TEMPERATURA	456
TABELLA 63: POTENZIALITÀ FRIGORIFERA DI FAN COIL A DUE TUBI CON DIFFERENZA DI TEMPERATURA ACQUA – AMBIENTE	461
TABELLA 64: POTENZIALITÀ TERMICA DI FAN COIL A DUE TUBI CON DIFFERENZA DI TEMPERATURA ACQUA – AMBIENTE	462
TABELLA 65: TABELLA DI SELEZIONE DELLE BOCCHETTE DI MANDATA	466
TABELLA 66: DATI TECNICI DI UN MONOBLOCCO RECUPERATORE DI CALORE	469