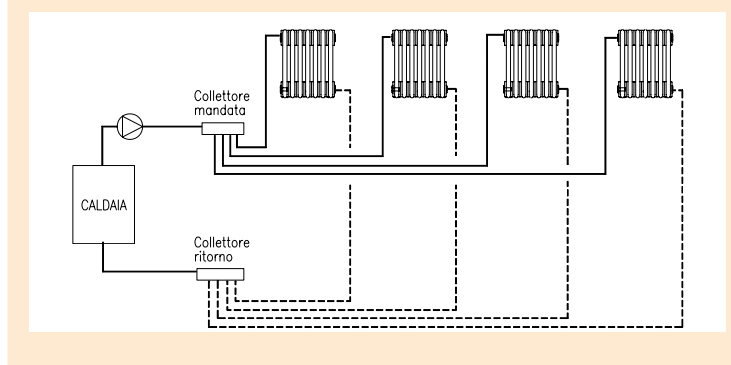


### U.08 – Impianti termoidraulici



1/71

### PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI

La prestazione del sistema edificio-impianto è il risultato delle prestazioni delle sue singole parti, articolate come segue:

- fabbisogno di **energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento ambiente** ⇒ UNI/TS 11300-1
- rendimento e fabbisogno di energia primaria degli **impianti di climatizzazione invernale** ⇒ UNI/TS 11300-2
- fabbisogno di energia termica, rendimento e fabbisogno di energia primaria per la produzione di **acqua calda sanitaria** ⇒ UNI/TS 11300-2
- rendimento e fabbisogno di energia primaria degli **impianti di climatizzazione estiva** ⇒ UNI/TS 11300-3
- risparmio di energia primaria ottenibile utilizzando **energie rinnovabili ed altri metodi di generazione** per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria ⇒ UNI/TS 11300-4 (in preparazione)

Aspetti non ancora, o non direttamente, o non completamente compresi dalle varie parti della UNI/TS 11300 vanno affrontati facendo riferimento alle specifiche norme tecniche (ad es. UNI EN ISO 6946, 10077-1, 13370, 13789, 13790, 10211, 14683 per le dispersioni e i fabbisogni, UNI 10349 per i parametri climatici, UNI 10351 e 10355 per le proprietà dei materiali).

**CLIMATIZZAZIONE INVERNALE:  
FABBISOGNI E PERDITE**

**RENDIMENTO GLOBALE MEDIO STAGIONALE**

Il rendimento globale medio stagionale dell'impianto di riscaldamento  $\eta_{g,H}$  è dato dalla relazione:

$$\eta_{g,H} = Q_h / Q_{p,H}$$

Il rendimento globale medio stagionale dell'impianto di produzione acqua calda sanitaria  $\eta_{g,W}$  è dato da:

$$\eta_{g,W} = Q_{h,W} / Q_{p,W}$$

Il rendimento globale medio stagionale globale per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria  $\eta_{g,H,W}$  è dato da:

$$\eta_{g,H,W} = (Q_h + Q_{h,W}) / Q_{p,H,W}$$

### FABBISOGNO IDEALE DI ENERGIA TERMICA

Il **fabbisogno ideale di energia termica utile** per riscaldamento dell'involucro edilizio  $Q_h$  è il dato fondamentale di ingresso per il calcolo dei fabbisogni di energia primaria.

Tale fabbisogno è riferito alla condizione di **temperatura dell'aria uniforme** in tutto lo spazio riscaldato. Esso è riferito, inoltre, a funzionamento continuo, cioè al mantenimento di una **temperatura interna dell'edificio costante** nel tempo.

Si calcola con i metodi forniti dalla UNI/TS 11300-1 e dalle altre norme ivi richiamate (UNI EN ISO 13790, 13789, 6946, 13370, 10211, 14683, 10077-1, ecc.).

### FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA

Il **fabbisogno di energia primaria** è dato dalla relazione:

$$Q_{p,H,W} = \sum_i Q_{H,c,i} \cdot f_{p,i} + \sum_j Q_{W,c,j} \cdot f_{p,j} + (Q_{H,aux} + Q_{W,aux} + Q_{INT,aux} - Q_{el,exp}) \cdot f_{p,el}$$

ove

$Q_{H,c,i}$  **fabbisogno di energia per riscaldamento ottenuto da ciascun vettore energetico** i-esimo (combustibili, energia elettrica, ecc.). Nel caso di combustibili è dato dalla quantità utilizzata per il potere calorifico inferiore, nel caso di energia elettrica dalla quantità utilizzata

$f_{p,i}$  **fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico** i-esimo

combustibili fossili  $\rightarrow f_p=1$

elettricità  $\rightarrow f_p$  stabilito da AEEG (2.17 dal 2008)

solare, biomasse e teleriscaldamento  $\rightarrow f_p$  da stabilire (UNI/TS 11300-4)

$Q_{W,c,j}$  **fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria ottenuto da ciascun vettore energetico** j-esimo

$f_{p,j}$  **fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico** j-esimo

$Q_{H,aux} / Q_{W,aux} / Q_{INT,aux}$  **fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari** di impianti di riscaldamento / impianti di produzione acqua calda sanitaria / eventuali sistemi che utilizzano energie rinnovabili e di cogenerazione

$f_{p,el}$  **fattore di conversione in energia primaria dell'energia ausiliaria elettrica**

**FATTORI DI CONVERSIONE ENERGIA PRIMARIA**

(UNI EN 15603:2008, Annex E)

	$f_p$ non rinnovabile	$f_p$ totale
Olio combustibile	1.35	1.35
Gas naturale	1.36	1.36
Antracite	1.19	1.19
Lignite	1.40	1.40
Coke	1.53	1.53
Legna in trucioli	0.06	1.06
Legna in ciocchi	0.09	1.09
Legna di faggio in ciocchi	0.07	1.07
Legna di abete in ciocchi	0.10	1.10
Elettricità da impianti idroelettrici	0.50	1.50
Elettricità da impianti nucleari	2.80	2.80
Elettricità da impianti a carbone	4.05	4.05
Elettricità da impianti rete UCPE	3.14	3.31

**RISCALDAMENTO INVERNALE: PERDITE**

Ai fini del calcolo dei fabbisogni per riscaldamento ottenuti dai vari vettori energetici, **gli impianti si considerano suddivisi in sottosistemi.**

La determinazione del **rendimento medio stagionale** di un impianto di riscaldamento e del **fabbisogno di energia primaria** deve essere effettuata **in base alle perdite dei vari sottosistemi** che lo compongono.

Per ogni sottosistema, identificato con il pedice x, vale il seguente **bilancio termico**:

$$Q_{x,in} = Q_{x,out} + (Q_{x,l} - Q_{x,lrh}) - Q_{aux,x,lrh}$$

ove

$Q_{x,in}$  fabbisogno di energia richiesto **in ingresso**

$Q_{x,out}$  energia utile da fornire **in uscita**

$Q_{x,l}$  perdite

$Q_{x,lrh}$  perdite recuperate

$$\Rightarrow (Q_{x,l} - Q_{x,lrh}) \text{ perdite al netto delle perdite recuperate}$$

$Q_{aux,x,lrh}$  energia termica recuperata dagli ausiliari elettrici

**IMPIANTI TERMICI: PERDITE E RENDIMENTI**

Sottosistemi degli **impianti di riscaldamento**:

- sottosistema di emissione
- sottosistema di regolazione dell'emissione di calore in ambiente
- sottosistema di distribuzione
- eventuale sottosistema di accumulo
- sottosistema di generazione

Sottosistemi degli **impianti di acqua calda sanitaria**:

- sottosistema di erogazione
- sottosistema di distribuzione
- eventuale sottosistema di accumulo
- sottosistema di generazione

Per la **determinazione delle perdite dei sottosistemi** sono previsti due metodi:

- calcolo mediante **metodi analitici** (descritti nella UNI/TS 11300-2)
- calcolo sulla base di **prospetti contenenti dati precalcolati** in funzione della tipologia del sottosistema (in questo caso, **non si contemplano generalmente recuperi** di energia termica o elettrica in quanto già considerati)

**FABBISOGNI IDEALE NETTO E EFFETTIVO DI ENERGIA TERMICA**

Il **fabbisogno ideale netto di energia termica utile per riscaldamento**  $Q'_h$  si ottiene deducendo dal fabbisogno ideale di energia termica utile  $Q_h$  le eventuali **perdite recuperate**  $Q_{w,lrh}$  dal sistema di acqua calda sanitaria:

$$Q'_h = Q_h - Q_{w,lrh}$$

Il **fabbisogno effettivo di energia termica utile per riscaldamento**  $Q_{hr}$  tiene conto delle caratteristiche dei sottosistemi di **emissione** e di **regolazione** con i loro eventuali effetti negativi e positivi:

$$Q_{hr} = Q_{d,out} = Q'_h + Q_{e,l} + Q_{rg,l} - Q_{aux,e,lrh}$$

ove

$Q_{e,l}$  perdite totali di emissione, dovute a **distribuzione non uniforme di temperatura dell'aria** negli ambienti riscaldati (stratificazione) e **presenza di corpi scaldanti annegati nelle strutture** (pannelli radianti)

$Q_{rg,l}$  perdite totali di regolazione, dovute ad **imperfetta regolazione dell'emissione del calore, mancato sfruttamento di apporti gratuiti** conteggiati in  $Q_h$  ma che si traducono in maggiori temperature ambiente anziché riduzioni del fabbisogno, **sbilanciamento dell'impianto**

$Q_{aux,e,lrh}$  energia termica recuperata dall'en. elettrica del sottosistema di emissione

**RISCALDAMENTO INVERNALE: PERDITE DI DISTRIBUZIONE**

Il fabbisogno di energia termica da fornire al sottosistema di distribuzione,  $Q_{d,in}$ , si calcola tenendo conto delle caratteristiche del sottosistema stesso con i suoi eventuali effetti negativi e positivi, usando la seguente procedura:

- 1) si determina l'energia termica utile effettiva  $Q_{hr} \equiv Q_{d,out}$  che deve essere fornita dal sottosistema distribuzione
- 2) si determinano le **trasmittanze lineiche**  $U_i$  [W/(m·K)] degli elementi (tubazioni) della rete di distribuzione, tenendo conto di diametro, spessore e conduttività del isolante, tipologia di installazione
- 3) si determinano le lunghezze  $L_i$  [m] degli elementi della rete
- 4) si determina la temperatura media dell'acqua  $\theta_{w,avg,i}$  nel circuito durante il periodo di calcolo
- 5) si determina la temperatura media dell'ambiente  $\theta_{a,i}$  nel quale sono installate le tubazioni
- 6) si determina il tempo di attivazione  $t_i$  del circuito nel periodo di calcolo (dati di progetto o di esercizio)
- 7) si calcolano le perdite totali  $Q_{d,i}$  come somma delle perdite dei singoli tratti:

$$Q_{d,i} = \sum_i [L_i \cdot U_i \cdot (\theta_{w,avg,i} - \theta_{a,i}) \cdot t_i]$$

- 8) ...

**RISCALDAMENTO INVERNALE: PERDITE DI DISTRIBUZIONE**

Procedura di calcolo:

...

- 8) si assume un fattore di riduzione delle perdite totali 0.8, per calcolare le perdite al netto del recupero:

$$Q_{d,i} - Q_{d,lrh} = 0.8 \cdot Q_{d,i}$$

- 9) si calcola l'energia ausiliaria (elettrica) totale  $Q_{aux,d}$
- 10) si determina l'eventuale energia termica recuperata dall'energia elettrica,  $Q_{aux,d,lrh}$ , moltiplicando  $Q_{aux,d}$  per un fattore 0.85:

$$Q_{aux,d,lrh} = 0.85 \cdot Q_{aux,d}$$

- 11) si calcola la quantità di calore richiesta alla generazione  $Q_{gn,out} \equiv Q_{d,in}$ :

$$Q_{d,in} = Q_{d,out} + 0.8 \cdot Q_{d,i} - 0.85 \cdot Q_{aux,d}$$

A seconda della disponibilità di dati, le singole voci possono essere determinate in maniera analitica (da dati di progetto o rilievi in campo) oppure stimate complessivamente (per esempio, stimando la lunghezza delle tubazioni in base alle dimensioni dell'edificio), per tutto l'impianto o per sue singole parti (ad es. distribuzione orizzontale, montanti, distribuzione finale, ecc.).

**PERDITE DI DISTRIBUZIONE: TRASMITTANZE LINEICHE**

$$Q_{d,l} = \sum_i [L_i \cdot U_i \cdot (\theta_{w,avg,i} - \theta_{a,i}) \cdot t_i]$$

Trasmittanza lineica di tubazioni isolate correnti in aria  $U_i$  [W/(m·K)]:

$$U_i = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} \cdot \ln\left(\frac{D_i}{d_i}\right) + \frac{1}{\alpha_{air} \cdot \pi \cdot D_i}}$$

ove

$d_i$  diametro esterno della tubazione [m]

$D_i$  diametro esterno dell'isolamento [m]

$\lambda_i$  conduttività dello strato isolante [W/(m·K)]

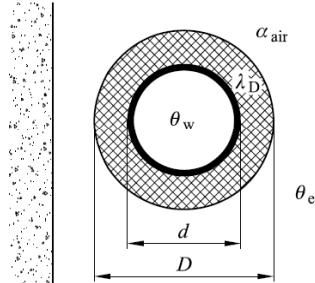
dichiarata dal produttore o, in assenza di informazioni, da prospetto

$\alpha_{air}$  coefficiente di scambio convettivo superficiale [W/(m²K)]

$\alpha_{air}=4$  W/(m²K) per tubazione corrente in ambienti interni

$\alpha_{air}=10$  W/(m²K) per tubazione corrente in ambienti esterni

Sono trascurate, rispetto alla resistenza termica dell'isolante e a quella superficiale esterna, la resistenza termica conduttiva associata alla parete del tubo e quella convettiva associata alla superficie interna.



**PERDITE DI DISTRIBUZIONE: TRASMITTANZE LINEICHE**

$$Q_{d,l} = \sum_i [L_i \cdot U_i \cdot (\theta_{w,avg,i} - \theta_{a,i}) \cdot t_i]$$

Trasmittanza lineica di tubazioni multistrato correnti in aria  $U_i$  [W/(m·K)]:

$$U_i = \frac{\pi}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_j} \cdot \ln\left(\frac{d_j}{d_{j-1}}\right) + \frac{1}{\alpha_{air} \cdot \pi \cdot d_n}}$$

ove

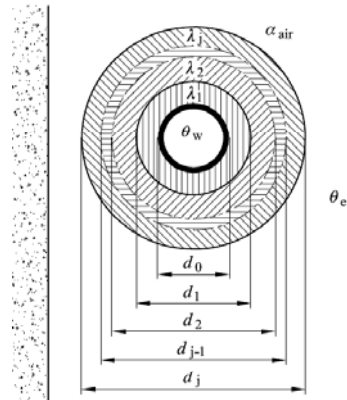
$d_0$  diametro esterno della tubazione [m]

$d_{j-1}$  diametro interno del j-esimo strato [m]

$d_j$  diametro esterno del j-esimo strato [m]

$d_n$  diametro esterno complessivo della tubazione [m]

$\lambda_j$  conduttività termica del j-esimo strato isolante [W/(m·K)]



**PERDITE DI DISTRIBUZIONE: TRASMITTANZE LINEICHE**

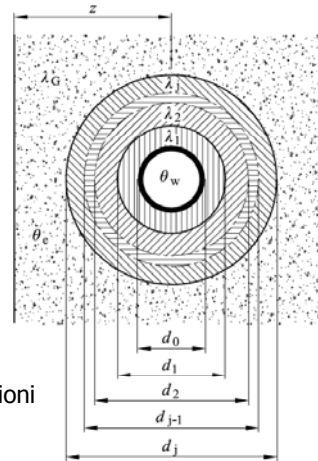
$$Q_{d,l} = \sum_i [L_i \cdot U_i \cdot (\theta_{w,avg,i} - \theta_{a,i}) \cdot t_i]$$

Trasmittanza lineica di tubazioni multistrato singole incassate nella muratura  $U_i$  [W/(m·K)]:

$$U_i = \frac{\pi}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_j} \cdot \ln\left(\frac{d_j}{d_{j-1}}\right) + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_G} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot z}{d_n}\right)}$$

ove

- $\lambda_G$  conduttività del materiale attorno alla tubazione [W/(m·K)]  
 $\lambda_G = 0.7$  W/(m·K) in assenza di altre informazioni
- $z$  profondità di incasso [m]  
 $z = 0.1$  m in assenza di altre informazioni



Trasmittanza lineica di tubazioni multistrato singole interrate  $U_i$  [W/(m·K)]:

Come per tubazione incassata attribuendo a  $\lambda_G$  la conduttività termica del terreno, con  $\lambda_G = 2.0$  W/(m·K) in assenza di altre informazioni.

**PERDITE DI DISTRIBUZIONE: SINGOLARITA'**

Si tiene conto delle seguenti tipologie di **interruzioni dell'isolamento** della tubazione:

- per **staffaggi di linea non isolati** (con interruzione dell'isolamento, scoperti), **maggiorare del 10%** la lunghezza totale della tubazione
- per **singolarità in centrale termica: lunghezza equivalente di tubazione non isolata dello stesso diametro del componente scoperto**, come da prospetto

Componente non isolato	Lunghezza equivalente non isolata
Pompa di circolazione	0.3 m
Valvola miscelatrice	0.6 m
Flangia, bocchettone	0.1 m

Nota: Le tubazioni non isolate devono essere valutate a parte, conformemente al punto A.5.1. La lunghezza equivalente riportata nel presente prospetto si riferisce esclusivamente alla singolarità, assumendo che la tubazione sia per il resto isolata.



**FABBISOGNI DI ENERGIA ELETTRICA**

Ai fini della valutazione sia dell'energia termica recuperata dagli ausiliari elettrici, sia del fabbisogno globale di energia primaria, è **necessario valutare separatamente il fabbisogno di energia elettrica dei sottosistemi impiantistici** e, da questo, il fabbisogno di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento:

$$Q_{H,aux} = Q_{aux,e} + Q_{aux,rg} + Q_{aux,d} + Q_{aux,gn}$$

ove

- $Q_{H,aux}$  fabbisogno totale di energia elettrica degli **ausiliari**
- $Q_{aux,e}$  fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di **emissione**
- $Q_{aux,rg}$  fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di **regolazione**, generalmente trascurabile
- $Q_{aux,d}$  fabbisogno di en. elettrica degli ausiliari del sottosistema di **distribuzione**
- $Q_{aux,gn}$  fabbisogno di en. elettrica degli ausiliari del sottosistema di **generazione**

Il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari può essere determinato:

- in sede di progettazione dell'impianto
- con misure sull'impianto
- con metodi di calcolo basati su parametri di riferimento caratteristici dell'edificio e dell'impianto

**FABBISOGNI ELETTRICI PER DISTRIBUZIONE**

Il **fabbisogno di energia elettrica per la distribuzione del fluido termovettore con elettropompe**  $Q_{PO,d}$  [kWh] è dato dalla relazione:

$$Q_{PO,d} = t_{PO} \cdot F_v \cdot W_{PO,d}$$

ove

- $W_{PO,d}$  potenza elettrica della pompa nelle condizioni di progetto [kW]
- $t_{PO}$  tempo convenzionale di attivazione della pompa [h]:
- $F_v$  fattore che tiene conto della variazione di velocità della pompa

Tipo di funzionamento	Fattore $F_v$
Pompa a velocità costante	1
Pompa a velocità variabile	0.6

Si deve **effettuare il calcolo per ciascuna pompa** presente e sommare i fabbisogni elettrici risultanti.

Gli impianti devono essere dotati di dispositivi per inibire il funzionamento delle pompe di circolazione durante i periodi di non attivazione dell'impianto. Durante i periodi di fermata stagionale degli impianti il funzionamento delle pompe deve essere inibito.

L'**energia termica recuperata** si ottiene moltiplicando  $Q_{PO,d}$  per un fattore 0.85.

**RISCALDAMENTO INVERNALE: PERDITE DI GENERAZIONE**

In definitiva, il **fabbisogno di energia per riscaldamento ottenuto da ciascun vettore energetico utilizzato**  $Q_{H,c}$  si ricava a partire dall'energia termica da fornire al sottosistema di distribuzione  $Q_{d,in} \equiv Q_{gn,out}$ , tenendo conto delle caratteristiche del sottosistema stesso con i suoi eventuali effetti negativi e positivi.

Per un impianto alimentato da un singolo vettore energetico (ad es. un generatore a combustibile fossile, oppure una pompa di calore elettrica) il fabbisogno di energia per riscaldamento ottenuto dal vettore energetico utilizzato coincide con l'energia da fornire al generatore,  $Q_{gn,in}$ :

$$Q_{H,c} \equiv Q_{gn,in} = Q_{d,in} + Q_{gn,l} - Q_{gn,lrh} - Q_{aux,gn,lrh}$$

ove

$Q_{gn,l}$  perdite totali per generazione, dovute ad **inefficienze del generatore**

$Q_{gn,lrh}$  frazione recuperata dell'energia termica dispersa dal sottosistema di generazione

$Q_{aux,gn,lrh}$  energia termica recuperata dall'energia elettrica del sottosistema di generazione

**RISCALDAMENTO INVERNALE: PERDITE DI GENERAZIONE**

Il **sottosistema di generazione** può fornire calore anche a utenze diverse dal riscaldamento, in particolare per la produzione di **acqua calda sanitaria**.

In tal caso, l'energia primaria totale  $Q_{p,H,W}$  che deve essere fornita dal sottosistema di generazione è data dalla relazione:

$$Q_{p,H,W} = Q_{p,H} + Q_{p,W}$$

ove

$Q_{p,H}$  fabbisogno per riscaldamento

$Q_{p,W}$  fabbisogno per la produzione di acqua calda sanitaria

Le **perdite di generazione** dipendono non solo dalle **caratteristiche del generatore di calore**, ma sono fortemente influenzate anche dalle modalità di inserimento del generatore nell'impianto e, in particolare, dal suo **dimensionamento rispetto al fabbisogno dell'edificio**, dalle **modalità di installazione** e dalla **temperatura dell'acqua** (media e/o di ritorno al generatore) nelle condizioni di esercizio (medie mensili).

Il **rendimento medio stagionale di produzione** differisce quindi dai rendimenti a pieno carico ed a carico parziale ottenuti con prove di laboratorio secondo le norme di riferimento.

**RISCALDAMENTO INVERNALE: PERDITE DI GENERAZIONE**

La UNI/TS 11300-2 prevede la **determinazione del rendimento di generazione**:

- 1) mediante **prospetti contenenti valori precalcolati** per le tipologie più comuni di generatori di calore in base al dimensionamento e alle condizioni d'installazione
- 2) mediante **metodi di calcolo**

In caso di valutazioni di progetto (A1) e standard (A2), i valori del prospetto della UNI/TS 11300-2 (calcolati con metodo analitico) si possono utilizzare solo se la tipologia del generatore e le condizioni al contorno corrispondono a quelle dei prospetti

La valutazione del rendimento di generazione in condizioni diverse da quelle indicate nei prospetti richiede il ricorso al calcolo secondo uno dei due metodi descritti nell'appendice B della UNI/TS 11300-2:

- **metodo di calcolo basato sui rendimenti dichiarati** ai sensi della Direttiva 92/42/CEE
- **metodo di calcolo analitico**

**PERDITE DI GENERAZIONE: METODO DIRETTIVA 92/42/CEE**

**Procedimento di calcolo:**

- a) si assumono i rendimenti a potenza nominale ed a carico parziale, determinati in base alla Direttiva, e si apportano le correzioni per adeguarli alle specifiche temperature dell'acqua previste nelle condizioni di funzionamento del generatore
- b) si determinano le perdite a carico nullo in condizioni di riferimento e si apportano le correzioni per tenere conto della effettiva temperatura dell'acqua nel generatore e per la temperatura dell'aria del locale di installazione
- c) si determinano le perdite di potenza termica per tre fattori di carico:
  - perdite al 100% del carico  $\Phi_{gn,I,Pn}$
  - perdite a carico intermedio  $\Phi_{gn,I,Pint}$
  - perdite a carico nullo  $\Phi_{gn,I,P0}$
- d) si determinano le perdite di potenza termica al carico specifico per interpolazione lineare
- e) si determinano le perdite di energia nell'intervallo di tempo considerato
- f) si determina l'energia ausiliaria in base al carico del generatore
- g) si determinano le perdite di energia recuperabili all'involucro come frazione delle perdite a carico nullo ed in funzione dell'ubicazione del generatore
- h) si aggiunge l'energia ausiliaria recuperabile alle perdite recuperabili per determinare l'energia recuperabile totale

**PERDITE DI GENERAZIONE: METODO ANALITICO**

Il metodo di calcolo è basato sui seguenti principi:

- 1) il tempo totale di funzionamento del generatore (tempo di attivazione) è suddiviso in due parti:
  - funzionamento con fiamma del bruciatore accesa
  - tempi di attesa con fiamma del bruciatore spenta (stand-by)
- 2) le perdite sono valutate separatamente in questi due periodi di tempo.
 

Durante il funzionamento con fiamma del bruciatore accesa si considerano le seguenti perdite:

  - perdite di calore sensibile a bruciatore acceso
  - perdite all'involucro del generatore

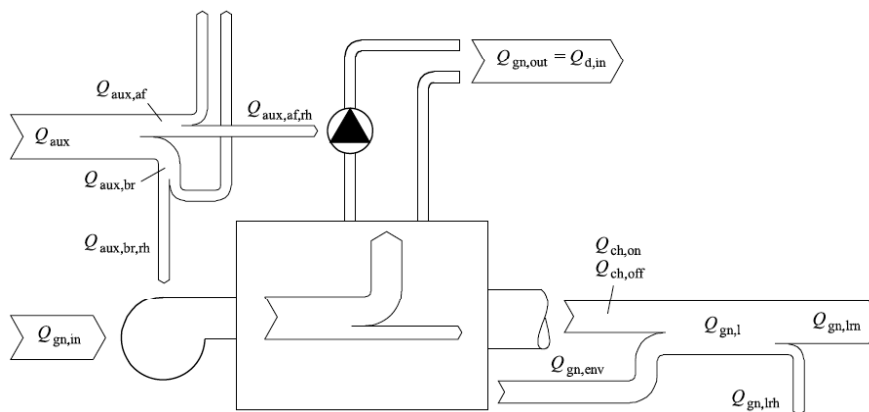
Durante i tempi di attesa con fiamma spenta (stand-by) considerano le seguenti perdite:

  - perdite di calore sensibile al camino a bruciatore spento
  - perdite all'involucro del generatore
- 3) l'energia ausiliaria è trattata separatamente in relazione ad apparecchi posti funzionalmente prima o dopo la camera di combustione

Il metodo di calcolo analitico richiede, oltre ai valori prestazionali che devono essere normalmente forniti dal fabbricante del generatore, altri valori. Tali valori sono generalmente forniti nella letteratura tecnica dei prodotti. In caso contrario si deve ricorrere ai valori di default riportati nella norma.

**RENDIMENTO DI GENERAZIONE: METODO ANALITICO**

(UNI/TS 11300-2, Appendice B)



Schema di bilancio energetico del sottosistema di generazione

**CLIMATIZZAZIONE INVERNALE:  
RENDIMENTI PRECALCOLATI**

**RISCALDAMENTO INVERNALE: RENDIMENTI PRECALCOLATI**

Per ogni sottosistema, identificato con il pedice  $x$ , le perdite termiche (nette) possono essere collegate ad un **rendimento precalcolato** tramite le relazioni:

$$Q_{x,in} \equiv (Q_{x,out} + Q_{l,x}) = Q_{x,out} / \eta_x$$

ovvero

$$Q_{l,x} = Q_{x,out} \cdot (1 - \eta_x) / \eta_x$$

$$\eta_x = \frac{Q_{x,out}}{Q_{x,in}}$$

Quando si utilizzano i valori di rendimento precalcolati forniti dai prospetti, **non si considerano recuperi di energia (termica o elettrica)**.

Qualora risulti necessario valutare il **rendimento convenzionale di un sottosistema** a sé stante, ad esempio per ristrutturazioni parziali dell'impianto termico, si procede con la formula:

$$\eta_x = \frac{Q_{x,out}}{Q_{x,in} + Q_{aux,x} \cdot f_{p,el}}$$

**RENDIMENTO**

Rendimento (efficienza) di un qualunque processo:

$$\text{effetto utile netto} / \text{risorse totali spese}$$

Rendimento (efficienza) di un motore termico:

$$\text{energia meccanica netta ottenuta} / \text{energia termica fornita}$$

$$\eta_t = \frac{L_n}{Q_e} = \frac{Q_e - Q_u}{Q_e} \equiv 1 - \frac{Q_u}{Q_e} \quad 0 \leq \eta_t < 1$$

Tipo motore	$\eta_t$ (circa)
Accensione comandata (benzina, gas)	0.2 – 0.3
Accensione per compressione (diesel)	0.3 – 0.5
Turbogeneratori a gas	0.3 – 0.4
Turbogeneratori a vapore	0.2 – 0.5

**RENDIMENTI IMPIANTISTICI**

Quando l’input energetico di un processo costituisce l’output energetico di un altro processo a monte, il **rendimento complessivo di N processi in cascata** è dato dal prodotto dei rendimenti dei singoli processi:

$$\begin{aligned} \eta_{1..N} &= \frac{E_{out,N}}{E_{in,1}} = \\ &= \frac{E_{out,N}}{E_{in,N}} \cdot \frac{E_{out,N-1} \equiv E_{in,N}}{E_{in,N-1}} \cdot \frac{E_{out,N-2} \equiv E_{in,N-1}}{E_{in,N-2}} \cdot \dots \cdot \frac{E_{out,2} \equiv E_{in,3}}{E_{in,2}} \cdot \frac{E_{out,1} \equiv E_{in,2}}{E_{in,1}} = \\ &= \eta_N \cdot \eta_{N-1} \cdot \eta_{N-2} \cdot \dots \cdot \eta_2 \cdot \eta_1 \end{aligned}$$

Esempi applicativi:

- Rendimento “dal pozzo alle ruote” per un veicolo (*from well to wheel*)
- Rendimento globale di un impianto termoidraulico...

**RENDIMENTI IMPIANTISTICI**

*rendimento = energia erogata / (energia erogata + dispersioni nette)*

$$\frac{Q_h}{Q_{gn,in}} = \frac{Q_h}{Q_h + Q_{e,l}} \cdot \frac{Q_h + Q_{e,l}}{Q_h + Q_{e,l} + Q_{rg,l}} \cdot \frac{Q_h + Q_{e,l} + Q_{rg,l}}{Q_h + Q_{e,l} + Q_{rg,l} + Q_{d,l}} \cdot \frac{Q_h + Q_{e,l} + Q_{rg,l} + Q_{d,l}}{Q_h + Q_{e,l} + Q_{rg,l} + Q_{d,l} + Q_{gn,l}} \equiv Q_{gn,in}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_h}{Q_{gn,in}} = \eta_e \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_d \cdot \eta_{gn}$$

ove

$Q_h$	fabbisogno di energia termica utile		
$Q_{gn,in}$	energia da fornire al generatore		
$Q_{e,l}$	perdite di emissione	$\eta_e$	rendimento di emissione
$Q_{e,rg}$	perdite di regolazione	$\eta_{rg}$	rendimento di regolazione
$Q_{e,d}$	perdite di distribuzione	$\eta_d$	rendimento di distribuzione
$Q_{e,gn}$	perdite di generazione	$\eta_{gn}$	rendimento di generazione

**FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA**

Il **fabbisogno di energia primaria** è dato dalla relazione:

$$Q_{p,H,W} = \sum_i Q_{H,c,i} \cdot f_{p,i} + \sum_j Q_{W,c,j} \cdot f_{p,j} + (Q_{H,aux} + Q_{W,aux} + Q_{INT,aux} - Q_{el,exp}) \cdot f_{p,el}$$

Per un impianto per solo riscaldamento, privo di sottosistemi cogenerativi e alimentato con un unico tipo di combustibile (con  $Q_{H,c} \equiv Q_{gn,in}$ ), si ottiene:

$$Q_{p,H} = Q_{gn,in} \cdot f_p + Q_{H,aux} \cdot f_{p,el}$$

Il **fabbisogno per generazione**  $Q_{gn,in}$  si può correlare al fabbisogno ideale di energia termica utile,  $Q_h$ :

$$Q_{gn,in} = \frac{Q_h}{\eta_e \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_d \cdot \eta_{gn}} \Leftrightarrow Q_h = Q_{gn,in} \cdot (\eta_e \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_d \cdot \eta_{gn})$$

Si noti che, introducendo la relazione precedente nella formula di definizione del **rendimento globale medio stagionale** dell'impianto di riscaldamento, si ottiene per molti impianti alimentati a combustibili fossili (con  $f_p=1$ ,  $Q_{H,aux} \cdot f_{p,el} \ll Q_{gn,in}$ ):

$$\eta_{g,H} = \frac{Q_h}{Q_{p,H}} = \frac{Q_{gn,in} \cdot (\eta_e \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_d \cdot \eta_{gn})}{Q_{gn,in} \cdot f_p + Q_{H,aux} \cdot f_{p,el}} \approx \eta_e \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_d \cdot \eta_{gn}$$

## IMPIANTI E FLUIDO TERMOVETTORE

### Composizione degli impianti

- Centrale di produzione del caldo e/o del freddo
- Sistema di distribuzione del fluido termovettore (tubazioni, canalizzazioni)
- Terminali di erogazione negli ambiente climatizzati

### Impianti ad acqua

Il fluido termovettore è **acqua** riscaldata o raffrescata in centrale termica e quindi distribuita ai singoli terminali nei diversi ambienti:

- RADIATORI (TERMOSIFONI)
- TERMOCONVETTORI
- AEROTERMI
- VENTILCONVETTORI (FAN COIL)
- PANNELLI RADIANTI

### Impianti ad aria

Il fluido termovettore è **aria**, eventualmente captata in parte dall'esterno, trattata in un dispositivo compatto (split) o in una unità di trattamento (UTA o ventilante) e quindi immessa nei diversi ambienti, direttamente o con canalizzazioni dedicate:

- SPLIT
- UTA E CANALIZZAZIONI

## IMPIANTI AD ACQUA (IDRONICI)

### Specificità:

- Possono controllare solo la temperatura ambiente
- Non sono in grado di controllare l'umidità ambiente
- Sono poco costosi

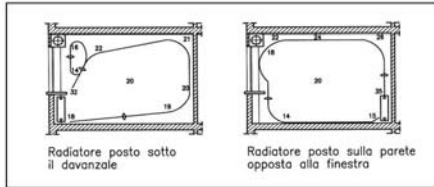
### Tipologie:

- Impianti a **radiatori e termoconvettori** (solo riscaldamento)
- Impianti ad **aerotermi** (solo riscaldamento, adatti per officine e magazzini – comfort scadente ma poco costosi)
- Impianti a **ventilconvettori** (riscaldamento invernale e raffrescamento estivo, adatti per uffici – controllo solo indiretto dell'umidità ma poco costosi)
- Impianti a **pannelli radianti** a pavimento o a soffitto (riscaldamento invernale e raffrescamento estivo – ottimo comfort ma molto costosi, necessaria l'adozione di dispositivi deumidificatori in caso di utilizzo per raffrescamento estivo)



RISCALDAMENTO INVERNALE: CORPI SCALDANTI AD ACQUA

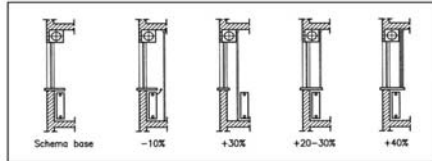
Radiatori



Effetto della posizione dei radiatori sulla distribuzione della temperatura negli ambienti. (Temp. in °C)

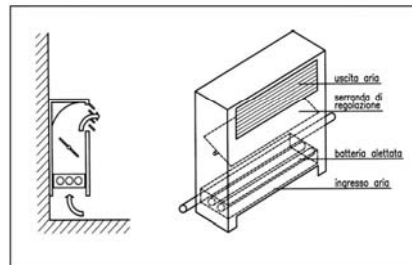


Usati tipi di schermature dei radiatori.

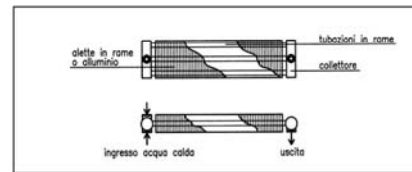


Effetto della posizione dei tendaggi sulla resa termica di un radiatore.

Termoconvettori



Termoconvettore: schema di funzionamento.

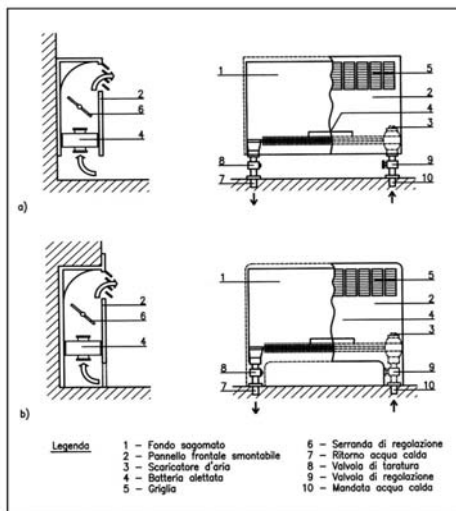


Schema di batteria elettrolita

(solo riscaldamento)

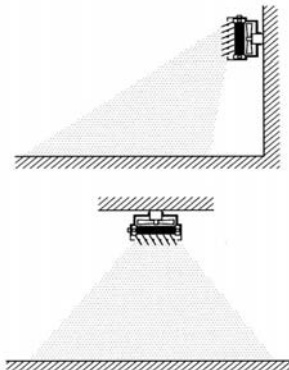
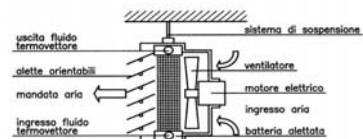
RISCALDAMENTO INVERNALE: CORPI SCALDANTI AD ACQUA

Termoconvettori



Esempi di installazione dei termoconvettori: a) in ambiente; b) in nicchia

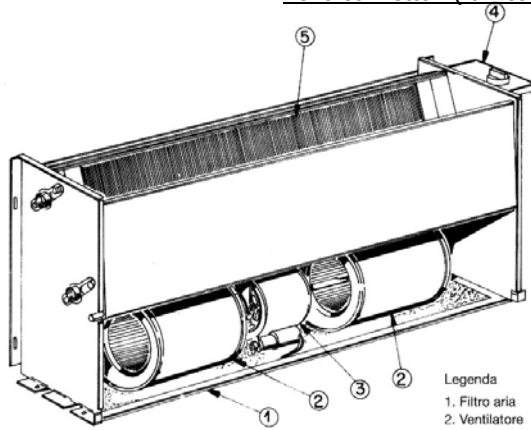
Aerotermi



(solo riscaldamento)

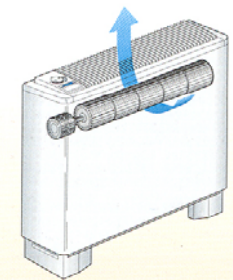
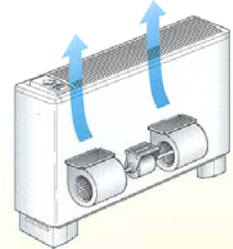
**RISCALDAMENTO INVERNALE: CORPI SCALDANTI AD ACQUA**

Ventilconvettori (fan-coil)



Mobiletto ventilconvettore (fan-coil)

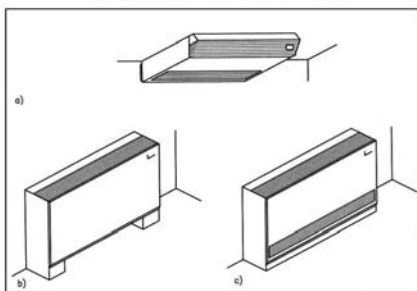
- Legenda
1. Filtro aria
  2. Ventilatore
  3. Motore elettrico
  4. Pannello comandi
  5. Batteria di scambio



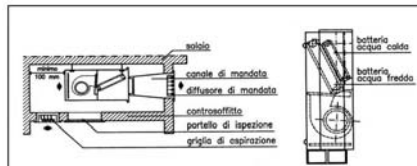
(riscaldamento – raffrescamento)

**RISCALDAMENTO INVERNALE: CORPI SCALDANTI AD ACQUA**

Ventilconvettori (fan coil)



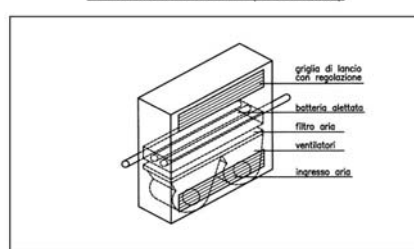
Tipologie disponibili di ventilconvettori: a) installazione a soffitto b) con ripreso dell'aria dal basso c) con ripreso dell'aria dal fronte



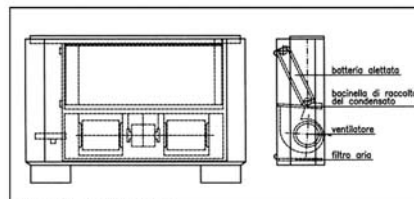
Esempio di ventilconvettore installato nel controsoffitto

Sez. trav. di un ventilconvettore a doppia batteria per impianto a quattro tubi.

Ventilconvettori ( fan coil)



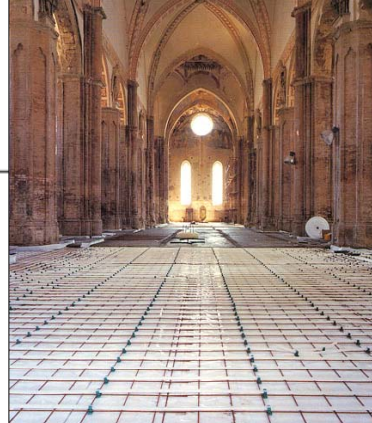
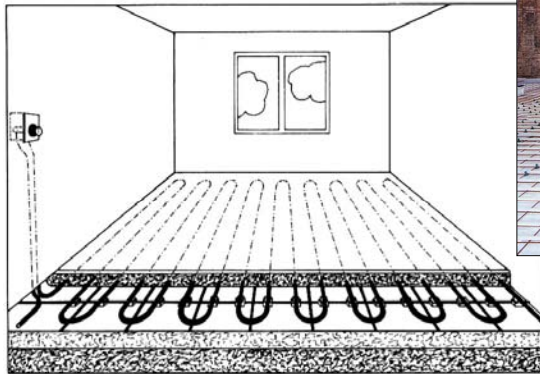
Ventilconvettore (fan coil): schema di funzionamento.



Parti principali di un ventilconvettore

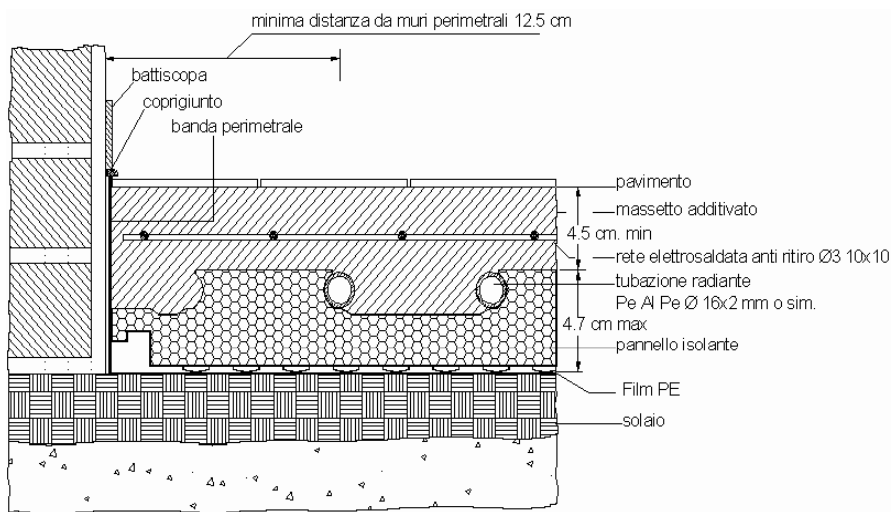
(riscaldamento – raffrescamento)

RISCALDAMENTO INVERNALE: PANNELLI RADIANTI



Impianto a pannelli radianti sottopavimento

RISCALDAMENTO INVERNALE: PANNELLI RADIANTI



### RISCALDAMENTO INVERNALE: PANNELLI RADIANTI

Funzionamento invernale (**riscaldamento**):

- temperatura di alimentazione invernale **da 35 a 45°C**
- resa invernale **da 50 a 100 W/m<sup>2</sup>**

Funzionamento estivo (**raffrescamento**):

- temperatura di alimentazione estiva di **16°C** (al di sotto di tale valore si possono avere fenomeni di condensa superficiale)
- resa estiva (massima, **solo calore sensibile**) **30 W/m<sup>2</sup>**
- deumidificazione dell'aria generalmente necessaria

E' importante controllare i fenomeni di dilatazione del pavimento mediante inserimento di giunti all'interno del massetto sopra pannello (massima superficie consigliabile 40 m<sup>2</sup>)

### RISCALDAMENTO INVERNALE: PERDITE DI EMISSIONE

La determinazione delle perdite di emissione è notevolmente influenzata dalle caratteristiche del locale e, in modo particolare dalla sua **altezza**.

I prospetti nella UNI/TS 11300-2 forniscono valori di rendimento di emissione nei due casi di:

- locali di **altezza non maggiore di 4 m**
- grandi ambienti di **altezza compresa tra 4 m e 14 m**

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

**EMISSIONE**

$H \leq 4 \text{ m}$

Tipo di terminale di erogazione	Carico termico medio annuo $W/m^2$ <sup>a)</sup>		
	<4	4-10	>10
	$\eta_e$		
Radiatori su parete esterna isolata (*)	0,95	0,94	0,92
Radiatori su parete interna	0,96	0,95	0,92
Ventilconvettori (**) valori riferiti a $t_{\text{media acqua}} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$	0,96	0,95	0,94
Termoconvettori	0,94	0,93	0,92
Bocchette in sistemi ad aria calda (***)	0,94	0,92	0,90
Pannelli isolati annegato a pavimento	0,99	0,98	0,97
Pannelli annegati a pavimento (****)	0,98	0,96	0,94
Pannelli annegati a soffitto	0,97	0,95	0,93
Pannelli a parete	0,97	0,95	0,93

- a) Il carico termico medio annuo, espresso in  $W/m^3$  è ottenuto dividendo il fabbisogno annuo di energia termica utile espresso in Wh, calcolato secondo la UNI EN ISO 13790, per il tempo convenzionale di esercizio dei terminali di emissione, espresso in ore, e per il volume lordo riscaldato del locale o della zona espresso in metri cubi.
- \*) Il rendimento indicato è riferito ad una temperatura di mandata dell'acqua di  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
Per parete riflettente, si incrementa il rendimento di 0,01.  
In presenza di parete esterna non isolata ( $U > 0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ) si riduce il rendimento di 0,04.  
Per temperatura di mandata dell'acqua  $\leq 65 \text{ }^\circ\text{C}$  si incrementa il rendimento di 0,03.
- \*\*) I consumi elettrici non sono considerati e devono essere calcolati separatamente.
- \*\*\*) Per quanto riguarda i sistemi di riscaldamento ad aria calda i valori si riferiscono a impianti con:  
- griglie di ripresa dell'aria posizionate ad un'altezza non maggiore di 2,00 m rispetto al livello del pavimento;  
- bocchette o diffusori correttamente dimensionati in relazione alla portata e alle caratteristiche del locale;  
- corrette condizioni di funzionamento (generatore di taglia adeguata, corretto dimensionamento della portata di aspirazione;  
- buona tenuta all'aria dell'involucro e della copertura.
- \*\*\*\*) I dati forniti non tengono conto delle perdite di calore non recuperate dal pavimento verso il terreno; queste perdite devono essere calcolate separatamente ed utilizzate per adeguare il valore del rendimento.

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

**RISCALDAMENTO INVERNALE: RENDIMENTO DI EMISSIONE**

$4 \text{ m} < H \leq 14 \text{ m}$

Descrizione	Carico termico ( $W/m^2$ )								
	<4			4 - 10			>10		
	Altezza del locale								
	6	10	14	6	10	14	6	10	14
Generatore d'aria calda singolo a basamento o pensile	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91
Aerotermi ad acqua	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90
Generatore d'aria calda singolo pensile a condensazione	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
Strisce radianti ad acqua, a vapore, a fuoco diretto	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95
Riscaldatori ad infrarossi	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94
Pannelli a pavimento annegati <sup>1)</sup>	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95
Pannelli a pavimento (isolati)	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95

<sup>1)</sup> I dati forniti non tengono conto delle perdite di calore non recuperate dal pavimento verso il terreno; queste perdite devono essere calcolate separatamente ed utilizzate per adeguare il valore del rendimento.

**RISCALDAMENTO INVERNALE: RENDIMENTO DI EMISSIONE**

Per ambienti riscaldati di altezza maggiore di 4 m, i rendimenti di emissione non dipendono solo dal carico termico medio annuale, ma sono fortemente influenzati dalla tipologia e dalle caratteristiche dei componenti, dalle modalità di installazione e dalle caratteristiche dell'edificio.

Il prospetto dei rendimenti di emissione precalcolati fornisce valori riferiti a installazione a perfetta regola d'arte. Tali condizioni sono riportate, a titolo indicativo, in un ulteriore apposito prospetto:

Tipologia di sistema	Condizioni di corretta installazione
Generatori aria calda	- salto termico <30 °C in condizioni di progetto; - regolazione modulante o alta bassa fiamma, con ventilatore funzionante in continuo; - generatori pensili installati ad un'altezza non maggiore di 4 m; - per impianti canalizzati, bocchette di ripresa dell'aria in posizione non maggiore di 1 m rispetto al livello del pavimento; - buona tenuta all'aria dell'involucro e della copertura (in particolare) dello spazio riscaldato.
Strisce radianti	- apparecchi rispondenti alla UNI EN 14037; - buona tenuta all'aria dell'involucro e della copertura (in particolare) dello spazio riscaldato.
Pannelli radianti	- sistemi dimensionati e installati secondo la UNI EN 1264-3 UNI EN 1264-4.

Qualora sussistano dubbi, si deve ricorrere ai metodi forniti dalla norme pertinenti (ad es. UNI EN 15316-2-1), con o senza contestuali misure in campo.

Tipo di regolazione	Caratteristiche	Sistemi ad elevata inerzia termica		
		Sistemi a bassa inerzia termica	Radiatori, convettori, ventilconvettori, strisciradianti ed aria calda	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente
Solo Climatica (compensazione con sonda esterna)		$1 - (0,6 \eta_u \gamma)$	$0,98 - (0,6 \eta_u \gamma)$	$0,94 - (0,6 \eta_u \gamma)$
Solo ambiente con regolatore	On off	0,94	0,92	0,88
	PI o PID	0,99	0,97	0,93
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	0,92
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,91
Climatica + ambiente con regolatore	On off	0,97	0,95	0,93
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
Solo zona con regolatore	On off	0,93	0,91	0,87
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
Climatica + zona con regolatore	On off	0,96	0,94	0,92
	PI o PID	0,995	0,98	0,96
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94
Climatica + zona con regolatore	On off	0,96	0,94	0,92
	PI o PID	0,995	0,98	0,96
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94
Climatica + zona con regolatore	On off	0,96	0,94	0,92
	PI o PID	0,995	0,98	0,96
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94

Nota  $\gamma$  rapporto apporti/perdite.  
 $\eta_u$  fattore di utilizzo degli apporti definito nella UNI/TS 11300-1.

**REGOLAZIONE**

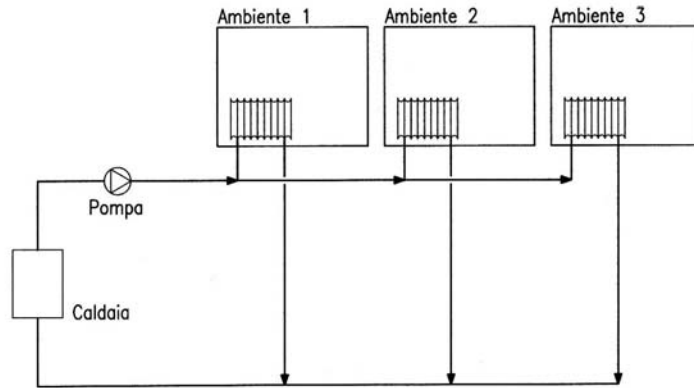
La sola **regolazione centrale**, per esempio con compensazione climatica, non consente un soddisfacente recupero degli apporti gratuiti.

Il prospetto è basato su una quota fissa di riferimento di perdita degli apporti gratuiti, che presuppone una regolazione in funzione del locale più sfavorito.

Nel caso di **regolazione manuale** (termostato di caldaia), ai soli fini di valutazione dei miglioramenti dell'efficienza energetica, si possono utilizzare i valori della regolazione "solo climatica" ridotti di 5 punti percentuali.

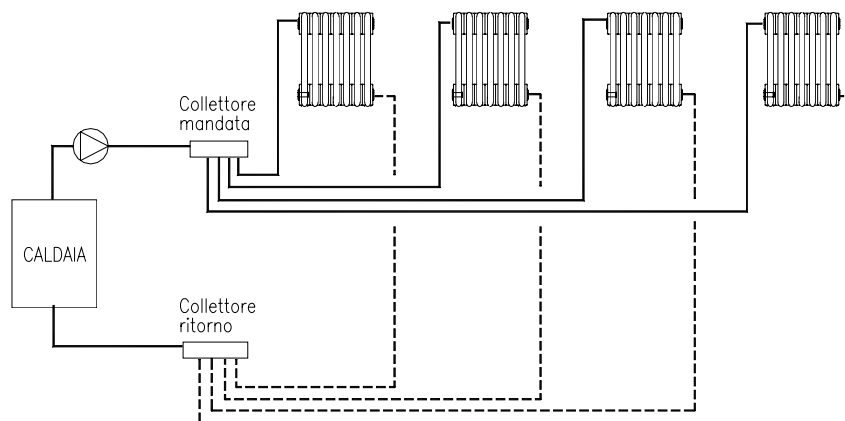
**DISTRIBUZIONE: ALIMENTAZIONE CORPI SCALDANTI AD ACQUA**

Schema a pettine



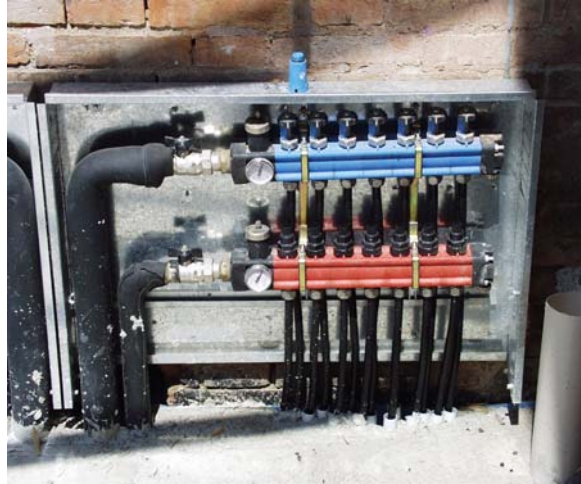
**DISTRIBUZIONE: ALIMENTAZIONE CORPI SCALDANTI AD ACQUA**

Schema a collettore

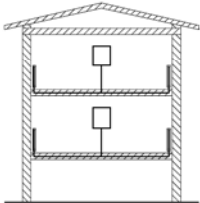
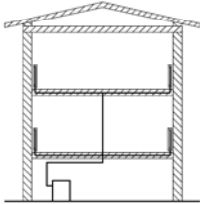


**DISTRIBUZIONE: ALIMENTAZIONE CORPI SCALDANTI AD ACQUA**

Collettore di distribuzione: **mandata** (rosso) e **ritorno** (blu)

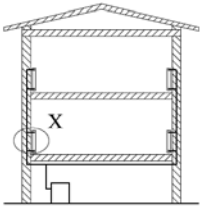
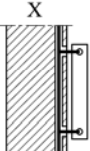


**RISCALDAMENTO INVERNALE: RENDIMENTO DI DISTRIBUZIONE**

IMPIANTI AUTONOMI				
	Isolamento distribuzione			
	Legge 10/91 Periodo di realizzazione dopo il 1993	Discreto Periodo di realizzazione 1993-1977	Medio Periodo di realizzazione 1976-1961	Insufficiente Periodo di realizzazione prima del 1961
	0,990	0,980	0,969	0,958
IMPIANTI CENTRALIZZATI A DISTRIBUZIONE ORIZZONTALE				
	Altezza edificio	Isolamento distribuzione		
		Legge 10/91 Periodo di realizzazione dopo il 1993	Discreto Periodo di realizzazione 1993-1977	Medio Periodo di realizzazione 1976-1961
	Fino a 3 piani	0,980	0,969	0,958
Oltre 3 piani	0,990	0,980	0,969	0,958



**RISCALDAMENTO INVERNALE: RENDIMENTO DI DISTRIBUZIONE**

IMPIANTI CENTRALIZZATI CON MONTANTI DI DISTRIBUZIONE					
Tipo di distribuzione	Altezza edificio	Isolamento distribuzione nel cantinato			
		Legge 10/91 Periodo di realizzazione dopo il 1993	Discreto Periodo di realizzazione 1993-1977	Medio Periodo di realizzazione 1976-1961	Insufficiente Periodo di realizzazione prima del 1961
Montanti in traccia nei paramenti interni o nell'intercapedine - Isolamento leggero Periodo di costruzione: 1993-1977 	1 piano	0,908	0,880	0,868	0,856
	2 piani	0,925	0,913	0,901	0,889
	3 piani	0,939	0,927	0,917	0,904
	4 piani	0,949	0,938	0,927	0,915
	5 piani e più Particolare	0,955	0,943	0,934	0,922
					

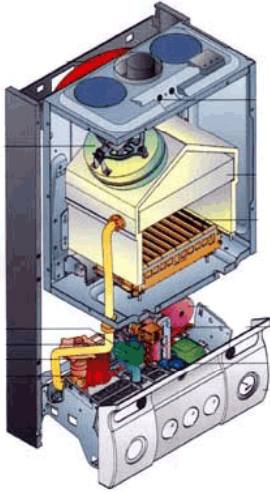
**RISCALDAMENTO INVERNALE: RENDIMENTO DI DISTRIBUZIONE**

I valori dei prospetti della norma si riferiscono a distribuzione con temperature di mandata e ritorno di progetto di 80°C/60° C.

Per **temperature di progetto differenti** si ricavano i valori corretti dei rendimenti da un apposito prospetto:

Temperature di mandata e ritorno di progetto	Rendimento di distribuzione corretto	Tipologia dell'impianto
70/55	$1 - (1 - \eta) \cdot 0.85$	A radiatori a temperatura variabile
55/45	$1 - (1 - \eta) \cdot 0.60$	A ventilconvettori
<b>35/30</b>	$1 - (1 - \eta) \cdot 0.25$	A pannelli

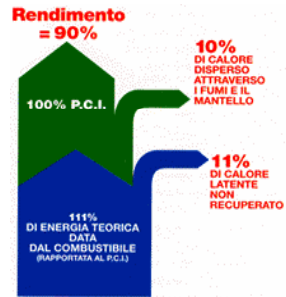
**GENERAZIONE TERMICA: CALDAIE TRADIZIONALI**



(Fonte: [www.ilportaledelsole.it](http://www.ilportaledelsole.it))

I fumi escono ad alta temperatura, superiore a 100°C. Il flusso termico dei fumi ad alta temperatura, pur rappresentando una necessità tecnologica (facilita l'espulsione in camino), rappresenta tuttavia una consistente dissipazione energetica. Ulteriore fonte di dissipazione è associata al "calore latente" del vapore d'acqua generato nel processo chimico di combustione e disperso insieme ai fumi.

Le "vecchie caldaie" sono spesso caratterizzate da rendimenti termici poco soddisfacenti. Tuttavia, anche nelle migliori caldaie tradizionali moderne si ha un **rendimento massimo di poco superiore al 90%**.

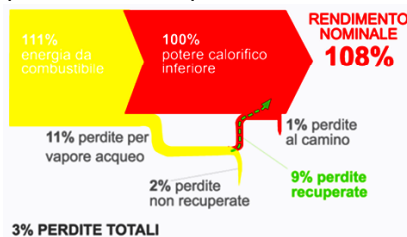


**GENERAZIONE TERMICA: CALDAIE A CONDENSAZIONE**



(Fonte: [www.ilportaledelsole.it](http://www.ilportaledelsole.it))

**Elemento di innovazione:** si utilizza il calore contenuto nei fumi per riscaldare acqua.



Le caldaie a condensazione raffreddano i fumi fino al "punto di rugiada", recuperando parte del calore contenuto nei fumi stessi. Questi diventano così talmente freddi che è possibile utilizzare (con cautela) come canna fumaria una semplice tubazione in plastica. Grazie a questo recupero termico, nelle migliori caldaie a condensazione si riescono ad ottenere **rendimenti superiori al 100%**.

### GENERAZIONE TERMICA: CALDAIE A CONDENSAZIONE

La sostituzione di una caldaia tradizionale con una a condensazione è accompagnata da una **diminuzione dei consumi del 15%** e oltre grazie alle caratteristiche tecnologiche della caldaia a condensazione (modulazione, sonde di temperatura, accumulo di calore all'interno del serbatoio a stratificazione).

**Il risparmio può anche raggiungere e superare il 30%**, dipende ovviamente dall'aumento del rendimento di centrale.

Un'abitazione servita da una caldaia tradizionale di qualità da 30 kW può essere gestita da una caldaia a condensazione da 25 kW.

Se si completa il sistema con l'integrazione di pannelli solari, si può aggiungere il risparmio consentito in riscaldamento dall'utilizzo dell'energia solare (25-30% medio).

Dalla combinazione di pannelli solari e caldaia a condensazione è possibile ottenere risparmi anche superiori al 60%.

### GENERAZIONE TERMICA: CALDAIE A CIPPATO

Il termine deriva dall'inglese **chips** "pezzettini": sono gli **scarti di legno ricavati dall'attività delle segherie, da ceduo boschivo, da potature agricole e stradali**. Sono escluse le lavorazioni sui legni trattati (vernici, ecc.)

È un ottimo combustibile, non inquinante (a meno dei depositi presenti sulla corteccia) e rinnovabile (al netto degli oneri energetici di raccolta, preparazione e trasporto), che può essere utilizzato per alimentare caldaie per riscaldamento e/o produzione di acqua sanitaria.

**Nella combustione del legno la quantità di CO<sub>2</sub> emessa è la stessa che si viene a produrre durante la fase di putrefazione del legname.**

**Il potere calorifico del cippato vale 3÷5 kWh/kg in base al grado di umidità.**

Il **costo del cippato è abbastanza basso**: ideale per teleriscaldamento e per riscaldamento di singoli edifici e/o fabbricati industriali di grandi dimensioni, consente risparmi fino al 50-80% su gas naturale e altri combustibili fossili.

**Con 2÷3 kg di legno cippato, costo al kg 0.03-0.10 €, si sviluppa la stessa potenza di 1 m<sup>3</sup> di gas naturale.**

**GENERAZIONE TERMICA: CALDAIE A PELLETS**

I pellets sono a base di legno naturale; come materia prima per la loro produzione si utilizzano trucioli di piallatura e di segheria che, senza l'aggiunta di sostanze agglomeranti di origine chimico-sintetica, vengono pressati sotto forma di rullini cilindrici con un diametro di 10 mm circa.

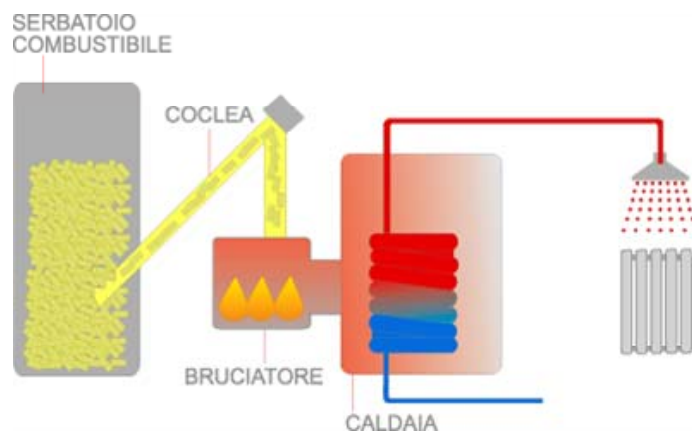
Vengono forniti in sacchi da 15/20/50 kg per le piccole utenze. Per le grandi utenze possono essere anche trasportati con autocisterne, munite di sistema pneumatico e relative tubazioni, per stiparli in silos.

La potenzialità energetica di poco più di 2 kg di pellet corrisponde a quella di circa 1 m<sup>3</sup> di gas naturale.

Il bruciatore a pellet è stato inventato negli USA. Ne sono commercializzati vari modelli, il cui rendimento medio di generazione è dell'85÷90% circa.

I dispositivi sono di norma completamente automatizzati: un microprocessore controlla l'accensione, temperatura, portata di massa di pellet nella caldaia, l'addensamento delle ceneri.

**CALDAIE A CIPPATO E PELLETS: SCHEMA FUNZIONALE**



Vi sono problemi con le emissioni di polveri (è generalmente necessaria l'adozione di filtri a manica e/o elettrostatici, sostenibili solo in grandi impianti)

**RISCALDAMENTO INVERNALE: RENDIMENTO DI GENERAZIONE**

Generatori di calore atmosferici tipo B classificati \*\* (2 stelle)

Valore di base	F1			F2	F3	F4
	1	2	4			
90	0	-2	-6	-9	-2	-2

Nota Per generatori antecedenti al 1996 valore di base 84.  
 Nota Per generatori classificati \* (1 stella) valore di base 88.  
 Nota Valore di base riferito a: caldaia a due stelle, sovradimensionamento 1 riferito al minimo di modulazione, installazione all'interno, camino alto meno di 10 m, temperatura di mandata in condizioni di progetto <65 °C.

Generatori di calore a camera stagna tipo C per impianti autonomi classificati \*\*\* (3 stelle)

Valore di base	F1			F2	F4
	1	2	4		
93	0	-2	-5	-4	-1

Nota Valore di base riferito a: caldaia a tre stelle, sovradimensionamento 1 riferito al minimo di modulazione, installazione all'interno, camino alto meno di 10 m, temperatura di mandata in condizioni di progetto <65 °C.

Generatori di calore a gas a condensazione \*\*\*\* (4 stelle)

ΔT fumi - acqua ritorno a Pn	Valore di base	F1			F2	F5	F7			
		1	1,25	1,5			40	50	60	>60
<12 °C	104	0	0	0	-1	-3	0	-4	-6	-7
da 12 °C fino a 24 °C	101	0	0	0	-1	-3	0	-2	-3	-4
>24 °C	99	0	0	0	-1	-2	0	-1	-2	-3

Nota Valori di base riferito a: caldaia a quattro stelle, regolazione modulante su aria e gas, sovradimensionamento 1 riferito alla potenza nominale, installazione in centrale termica, chiusura aria comburente all'arresto (o bruciatore a premiscelazione totale), ΔT finale acqua ritorno/fumi per classi <12, da 12 fino a 24, oltre 24 °C a potenza nominale.

Fattori di correzione:

- F1 rapporto fra la potenza del generatore installato e la potenza di progetto richiesta.
- Per generatori modulanti, F1 si determina con riferimento alla potenza minima regolata
- F2 installazione all'esterno
- F3 camino di altezza maggiore di 10 m
- F4 temperatura media di caldaia maggiore di 65°C in condizioni di progetto
- F5 generatore monostadio
- F6 camino di altezza maggiore di 10 m in assenza di chiusura dell'aria comburente all'arresto (non applicabile ai premiscelati)
- F7 temperatura di ritorno in caldaia nel mese più freddo

**CALCOLO DEI RENDIMENTI INVERNALI: QUADRO DI SINTESI**

Metodo di calcolo dei rendimenti

Sottosistema	Valutazioni di calcolo			
	A1 e A2		A3	
	H ≤ 4 m	H > 4 m	H ≤ 4 m	H > 4 m
Emissione	Valori da prospetto 17	Valori da prospetto 18, ove siano verificate le condizioni al contorno. Negli altri casi: calcolo	Valori da prospetto 17	Calcolo e misure in campo
Regolazione	Valori da prospetto 20			
Distribuzione	A1	A2	A3	
	Metodo dell'appendice A	Valori da prospetto 21 Quando le condizioni sono tra quelle specificate per i dati precalcolati si possono utilizzare tali dati, in caso diverso metodo dell'appendice A.		
Generazione	Valori dei prospetti 23 Quando sono rispettate le condizioni al contorno. Negli altri casi, calcolo con i metodi dell'appendice B.			

**RISCALDAMENTO INVERNALE: IMPIANTI CENTRALIZZATI**

Sono da attribuire all'unità immobiliare in esame, in caso appartenenza a fabbricato condominiale:

- fabbisogno di calore  $Q_h$
- rendimento di emissione
- rendimento di regolazione

Sono da attribuire alle parti comuni del condominio, in comproprietà delle unità immobiliari condominiali:

- rendimento di distribuzione
- rendimento di generazione

Ciò equivale ad assumere che le singole unità immobiliari prelevino energia termica utile dalla rete condominiale con perdite di distribuzione e di generazione determinate dal sistema di trasporto del calore della rete condominiale stessa (e quindi uguali per tutte le unità).

Il fabbisogno effettivo di energia termica utile della i-esima unità immobiliare vale:

$$Q_{d,in,i} = Q_{h,i} + Q_{e,i} + Q_{rg,i}$$

Il fabbisogno di energia (al generatore) dell'unità immobiliare è dato da:

$$Q_{gn,in,i} = Q_{d,in,i} / (\eta_d \cdot \eta_{gn})$$

**LIMITAZIONI AI RENDIMENTI DI IMPIANTO**

(D.P.R. n. 59/2009, art. 4)

5. Per tutte le categorie di edifici, [...], nel caso di nuova installazione e ristrutturazione di impianti termici o sostituzione di generatori di calore, previsti all'articolo 3, comma 2, lettera c), numeri 2) e 3), del decreto legislativo, si procede al calcolo del rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico e alla verifica che lo stesso risulti superiore al valore limite riportato al punto 5 dell'allegato C al decreto legislativo. [...]

(D.lgs. n. 192/2005 e s.m.i., Allegato C)

5. Rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico

$$\eta_g = (75 + 3 \log P_n) \%$$

dove  $\log P_n$  è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore o dei generatori al servizio del singolo impianto termico, espressi in kW.

Per i valori superiori a 1000 kW la formula precedente non si applica, e la soglia minima per il rendimento globale medio stagionale è pari a 84%.

RENDIMENTO GLOBALE  
MEDIO STAGIONALE

METODO SEMPLIFICATO

Procedimento di calcolo:

(1) Il **periodo di calcolo** è la **stagione legale di riscaldamento** nella zona climatica considerata per quanto attiene la climatizzazione invernale, **l'anno per la produzione di acqua calda sanitaria**

(2) Si trascurano i recuperi  $Q_{w,lrh}$  e quindi si ha:

$$Q'_h = Q_h \text{ [kWh]}$$

(3) Si determinano i **rendimenti di emissione e regolazione** con i dati degli specifici prospetti di valori precalcolati

(4) Si determina il **rendimento di distribuzione** con i dati degli specifici prospetti di valori precalcolati, applicando le eventuali **correzioni relative alla temperatura media** e trascurando i recuperi di energia termica  $Q_{d,lrh}$  dagli ausiliari elettrici della distribuzione (pompe di circolazione)

(5) Si determina il **fabbisogno in uscita dal generatore**  $Q_{gn,out}$  [kWh]. In assenza di accumulo si ha:

$$Q_{gn,out} \equiv Q_{d,in} = \frac{Q_h}{\eta_e \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_{d,corr}}$$

**METODO SEMPLIFICATO**

- (6) Si calcola la **potenza media stagionale richiesta al generatore**  $\phi_{gn,avg}$  [kW]:

$$\phi_{gn,avg} = Q_{gn,out} / t_{gn}$$

ove  $t_{gn}$  [h] = 24 [h] · numero di giorni legali di riscaldamento

- (7) Si calcola la **potenza nominale richiesta al generatore**  $\phi_{gn}$  [kW] in base alla potenza media stagionale calcolata:

$$\phi_{gn} = \phi_{gn,avg} / FC_{clima}$$

ove  $FC_{clima}$  è il **fattore climatico di carico medio stagionale** della località considerata, definito come rapporto la differenza di temperatura media stagionale tra interno ed esterno e la differenza di temperatura tra interno ed esterno di progetto. In mancanza di tale dato si può assumere:

$$FC_{clima} = 0.5$$

- (8) Si calcola il **fattore di carico medio del generatore**:

$$FC_{u,gn} = \phi_{gn,avg} / \phi_{Pn}$$

ove  $\phi_{Pn}$  [kW] è la potenza termica utile nominale del generatore **installato**

**METODO SEMPLIFICATO**

- (9) Si determina il **fattore di dimensionamento del generatore**:

$$F1 = \phi_{Pn} / \phi_{gn}$$

- (10) si determina il **rendimento di generazione**, in base al fattore F1 e agli altri fattori relativi all'installazione del generatore, con i dati degli specifici prospetti di valori precalcolati

- (11) Si calcola il **fabbisogno stagionale di energia del generatore di calore**  $Q_{gn,in}$  [kWh]:

$$Q_{gn,in} = \frac{Q_{gn,out}}{\eta_{gn}} = \frac{Q_h}{\eta_e \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_{d,corr} \cdot \eta_{gn}}$$



**METODO SEMPLIFICATO**

- (12) Si calcola la **potenza elettrica degli ausiliari del generatore**  $W_{gn,aux}$  [W]:

$$W_{gn,aux} = G + H \cdot \Phi_{Pn}^n$$

ove i parametri  $G, H, n$  si ottengono da uno specifico prospetto, con riferimento alla potenza nominale ( $\Phi_{Pn}$ )

Tipologia	Potenza	G	H	n
<b>Generatori standard</b>				
Generatori atmosferici a gas	$\Phi_{Pn}$	40	0,148	1
	$\Phi_{Pint}$	40	0,148	1
	$\Phi_{Po}$	15	0	0
Generatori con bruciatore ad aria soffiata a combustibili liquidi e gassosi	$\Phi_{Pn}$	0	45	0,48
	$\Phi_{Pint}$	0	15	0,48
	$\Phi_{Po}$	15	0	0
<b>Generatori a bassa temperatura</b>				
Generatori atmosferici a gas	$\Phi_{Pn}$	40	0,148	1
	$\Phi_{Pint}$	40	0,148	1
	$\Phi_{Po}$	15	0	0
Generatori con bruciatore ad aria soffiata a combustibili liquidi e gassosi	$\Phi_{Pn}$	0	45	0,48
	$\Phi_{Pint}$	0	15	0,48
	$\Phi_{Po}$	15	0	0
Generatori a condensazione a combustibili liquidi e gassosi	$\Phi_{Pn}$	0	45	0,48
	$\Phi_{Pint}$	0	15	0,48
	$\Phi_{Po}$	15	0	0

**METODO SEMPLIFICATO**

- (13) La **potenza elettrica della eventuale pompa primaria**  $W_{gn,PO,pr}$  si assume pari a 100 W

- (14) Si calcola la **potenza complessiva degli ausiliari elettrici**  $W_{aux,t}$  [kW]:

$$W_{aux,t} = (W_{gn,aux} + W_{gn,PO,pr})/1000$$

(il divisore 1000 serve ad ottenere un valore in kW)

- (15) Si calcola il **fabbisogno complessivo di energia elettrica degli ausiliari**  $Q_{aux,t}$  [kWh] sulla base del fattore di carico medio precedentemente calcolato:

$$Q_{aux,t} \equiv Q_{H,aux} = FC_{u,gn} \cdot W_{aux,t} \cdot t_{gn}$$

- (16) Si determina il **fabbisogno di energia primaria degli ausiliari**  $Q_{aux,p}$  [kWh]:

$$Q_{aux,p} = Q_{aux,t} \cdot f_{p,el}$$

- (17) Si determina infine il fabbisogno globale annuo per riscaldamento sommando al fabbisogno calcolato al passo 11 il fabbisogno di energia primaria calcolato al passo 16:

$$Q_{p,H} = Q_{gn,in} \cdot f_p + Q_{H,aux} \cdot f_{p,el}$$

**RENDIMENTO GLOBALE MEDIO STAGIONALE**

$$Q_{p,H} = Q_{gn,in} \cdot 1 + Q_{H,aux} \cdot f_{p,el}$$

$$Q_h = Q_{gn,in} \cdot (\eta_e \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_d \cdot \eta_{gn})$$

$$\eta_{g,H} = \frac{Q_h}{Q_{p,H}} = \frac{\eta_e \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_d \cdot \eta_{gn}}{f_p + Q_{H,aux} \cdot f_{p,el} / Q_{gn,in}} \approx \eta_e \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_d \cdot \eta_{gn}$$

Soluzione	$\eta_e$ (emissione)	$\eta_{rg}$ (regolazione)	$\eta_d$ (distribuzione)	$\eta_{gn}$ (produzione)	$\approx \eta_{g,H}$
Convenzionale	0.88 (radiatori)	0.84 (climatica)	0.904 (col. montanti)	0.74 (caldaia std.)	0.49
Convenzionale migliorato	0.89 (radiatori)	0.97 (clim./amb.)	0.904 (col. montanti)	0.92 (*** modulante)	0.72
Convenzionale rinnovato	0.92 (radiatori)	0.97 (clim./amb.)	0.980 (distr. orizz.)	0.92 (*** modulante)	0.80
A condensazione	0.94 (pannelli rad.)	0.95 (clim./amb.)	0.980 (distr. orizz.)	1.01 (condensazione)	0.88
Avanzato (geotermico)	0.94 (pannelli rad.)	0.95 (clim./amb.)	0.980 (distr. orizz.)	0.50÷1.80 (geotermico)	0.44÷1.58

**EMISSIONE**

H ≤ 4 m

Tipo di terminale di erogazione	Carico termico medio annuo W/m <sup>2 a)</sup>		
	<4	4-10	>10
	$\eta_a$		
Radiatori su parete esterna isolata (*)	0,95	0,94	0,92
Radiatori su parete interna	0,96	0,95	0,92
Ventilconvettori (**) valori riferiti a $t_{moda\ acqua} = 45\ ^\circ C$	0,96	0,95	0,94
Termoconvettori	0,94	0,93	0,92
Bocchette in sistemi ad aria calda (***)	0,94	0,92	0,90
Pannelli isolati annegati a pavimento	0,99	0,98	0,97
Pannelli annegati a pavimento (****)	0,98	0,96	0,94
Pannelli annegati a soffitto	0,97	0,95	0,93
Pannelli a parete	0,97	0,95	0,93

- a) Il carico termico medio annuo, espresso in W/m<sup>3</sup> è ottenuto dividendo il fabbisogno annuo di energia termica utile espresso in Wh, calcolato secondo la UNI EN ISO 13790, per il tempo convenzionale di esercizio dei terminali di emissione, espresso in ore, e per il volume lordo riscaldato del locale o della zona espresso in metri cubi.
- \*) Il rendimento indicato è riferito ad una temperatura di mandata dell'acqua di 85 °C.  
Per parete riflettente, si incrementa il rendimento di 0,01.  
In presenza di parete esterna non isolata ( $U > 0.8\ W/m^2\ K$ ) si riduce il rendimento di 0,04.  
Per temperatura di mandata dell'acqua ≤ 65 °C si incrementa il rendimento di 0,03.
- \*\*) I consumi elettrici non sono considerati e devono essere calcolati separatamente.
- \*\*\*) Per quanto riguarda i sistemi di riscaldamento ad aria calda i valori si riferiscono a impianti con:  
- griglie di ripresa dell'aria posizionate ad un'altezza non maggiore di 2,00 m rispetto al livello del pavimento;  
- bocchette o diffusori correttamente dimensionati in relazione alla portata e alle caratteristiche del locale;  
- corrette condizioni di funzionamento (generatore di taglia adeguata, corretto dimensionamento della portata di aspirazione);  
- buona tenuta all'aria dell'involucro e della copertura.
- \*\*\*\*) I dati forniti non tengono conto delle perdite di calore non recuperate dal pavimento verso il terreno; queste perdite devono essere calcolate separatamente ed utilizzate per adeguare il valore del rendimento.

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

Tipo di regolazione	Caratteristiche	Sistemi a bassa inerzia termica		Sistemi ad elevata inerzia termica	
		Radiatori, convettori, ventilconvettori, strisciradianti ed aria calda	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	Pannelli annessi alle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente	
Solo Climatica (compensazione con sonda esterna)		$1 - (0,6 \eta_a \gamma)$	$0,98 - (0,6 \eta_a \gamma)$	$0,94 - (0,6 \eta_a \gamma)$	
Solo ambiente con regolatore	On off	0,94	0,92	0,88	
	PI o PID	0,99	0,97	0,93	
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	0,92	
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,91	
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	0,89	
Climatica + ambiente con regolatore	On off	0,97	0,95	0,93	
	PI o PID	0,995	0,99	0,97	
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96	
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95	
	P banda prop. 2 °C	0,97	0,96	0,94	
Solo zona con regolatore	On off	0,93	0,91	0,87	
	PI o PID	0,995	0,99	0,97	
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96	
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95	
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	0,88	
Climatica + zona con regolatore	On off	0,96	0,94	0,92	
	PI o PID	0,995	0,98	0,96	
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95	
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94	
	P banda prop. 2 °C	0,96	0,95	0,93	

Nota  $\gamma$  rapporto apporti/perdite.  
 $\eta_a$  fattore di utilizzo degli apporti definito nella UNI/TS 11300-1.

REGOLAZIONE

La sola **regolazione centrale**, per esempio con compensazione climatica, non consente un soddisfacente recupero degli apporti gratuiti. Il prospetto è basato su una quota fissa di riferimento di perdita degli apporti gratuiti, che presuppone una regolazione in funzione del locale più sfavorito.

Nel caso di **regolazione manuale** (termostato di caldaia), ai soli fini di valutazione dei miglioramenti dell'efficienza energetica, si possono utilizzare i valori della regolazione "solo climatica" ridotti di 5 punti percentuali.

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

IMPIANTI CENTRALIZZATI A DISTRIBUZIONE ORIZZONTALE		Isolamento distribuzione			
Altezza edificio	Legge 10/91 Periodo di realizzazione dopo il 1993	Discreto	Medio	Insufficiente	
		Periodo di realizzazione 1993-1977	Periodo di realizzazione 1976-1961	Periodo di realizzazione prima del 1961	
Fino a 3 piani		0,980	0,969	0,958	0,947
Oltre 3 piani					

IMPIANTI CENTRALIZZATI CON MONTANTI DI DISTRIBUZIONE					
Tipo di distribuzione	Altezza edificio	Isolamento distribuzione nel cantinato			
		Legge 10/91 Periodo di realizzazione dopo il 1993	Discreto Periodo di realizzazione 1993-1977	Medio Periodo di realizzazione 1976-1961	Insufficiente Periodo di realizzazione prima del 1961
Montanti in traccia nei paramenti interni o nell'intercapedine - Isolamento leggero Periodo di costruzione: 1993-1977	1 piano	0,908	0,880	0,868	0,856
	2 piani	0,925	0,913	0,901	0,889
	3 piani	0,939	0,927	0,917	0,904
	4 piani	0,949	0,938	0,927	0,915
	5 piani e più Particolare	0,955	0,943	0,934	0,922

DISTRIBUZIONE

## GENERAZIONE

Generatori di calore atmosferici tipo B classificati \*\* (2 stelle)

Valore di base	F1			F2	F3	F4
	1	2	4			
90	0	-2	-6	-9	-2	-2

Nota Per generatori antecedenti al 1996 valore di base 84.  
 Nota Per generatori classificati \* (1 stella) valore di base 88.  
 Nota Valore di base riferito a: caldaia a due stelle, sovradimensionamento 1 riferito al minimo di modulazione, installazione all'interno, camino alto meno di 10 m, temperatura di mandata in condizioni di progetto <math>65^{\circ}\text{C}</math>.

Generatori di calore a camera stagna tipo C per impianti autonomi classificati \*\*\* (3 stelle)

Valore di base	F1			F2	F4
	1	2	4		
93	0	-2	-5	-4	-1

Nota Valore di base riferito a: caldaia a tre stelle, sovradimensionamento 1 riferito al minimo di modulazione, installazione all'interno, camino alto meno di 10 m, temperatura di mandata in condizioni di progetto <math>65^{\circ}\text{C}</math>.

Generatori di calore a gas a condensazione \*\*\*\* (4 stelle)

$\Delta T$ fumi - acqua ritorno a Pn	Valore di base	F1			F2	F5	F7			
		1	1,25	1,5			40	50	60	>60
<math><12^{\circ}\text{C}</math>	104	0	0	0	-1	-3	0	-4	-6	-7
da <math>12^{\circ}\text{C}</math> fino a <math>24^{\circ}\text{C}</math>	101	0	0	0	-1	-3	0	-2	-3	-4
><math>24^{\circ}\text{C}</math>	99	0	0	0	-1	-2	0	-1	-2	-3

Nota Valori di base riferito a: caldaia a quattro stelle, regolazione modulante su aria e gas, sovradimensionamento 1 riferito alla potenza nominale, installazione in centrale termica, chiusura aria comburente all'arresto (o bruciatore a premiscelazione totale).  $\Delta T$  finale acqua ritorno/fumi per classi <math><12</math>, da <math>12</math> fino a <math>24</math>, oltre <math>24^{\circ}\text{C}</math> a potenza nominale.

Fattori di correzione:

F1 rapporto fra la potenza del generatore installato e la potenza di progetto richiesta.

Per generatori modulanti, F1 si determina con riferimento alla potenza minima regolata

F2 installazione all'esterno

F3 camino di altezza maggiore di 10 m

F4 temperatura media di caldaia maggiore di <math>65^{\circ}\text{C}</math> in condizioni di progetto

F5 generatore monostadio

F6 camino di altezza maggiore di 10 m in assenza di chiusura dell'aria

comburente all'arresto (non applicabile ai premiscelati)

F7 temperatura di ritorno in caldaia nel mese più freddo