

IL RISPARMIO ENERGETICO ED I RENDIMENTI DEGLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO

1. L'INVOLUCRO EDILIZIO

Il consumo energetico per il riscaldamento degli edifici dipende innanzitutto dalle caratteristiche dell'involucro edilizio: dalla sua resistenza termica e dalla sua capacità di utilizzare gli apporti

gratuiti (interni e solari).

Esempio n. 1: calcolo dell'energia dispersa verso l'esterno da un locale di abitazione in un'ora, nel periodo medio stagionale.

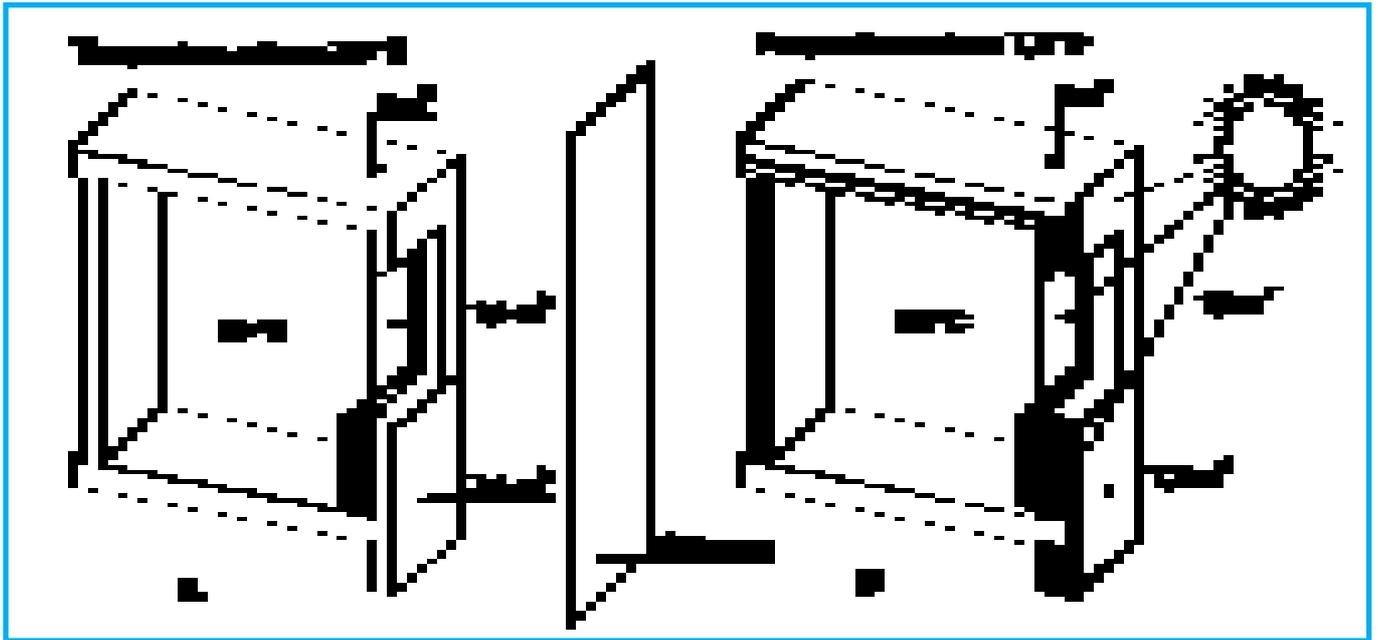


Fig. n. 1: Il locale B, termicamente isolato e non ombreggiato, disperde meno di un terzo dell'energia richiesta dal locale A, per mantenere al suo interno la temperatura di 20 °C

A - Locale non isolato

S (m ²)	U (W/m ² K)	Δt (°C)	τ (s)	Q _l (kJ)
16,5	1,8	12,5	3.600	1.337
1,5	5,0	12,5	3.600	338
			Q _s =	0
			Q _h =	1.675

B - Locale termicamente isolato

S (m ²)	U (W/m ² K)	Δt (°C)	τ (s)	Q _l (kJ)
16,5	0,6	12,5	3.600	446
1,5	2,3	12,5	3.600	155
			Q _s =	61
			Q _h =	540

S è la superficie disperdente, in m²

U è la trasmittanza unitaria, in W/m²K;

Δt è la differenza di temperatura fra l'ambiente interno e l'esterno, in K;

τ è il tempo, in s;

Q_l è l'energia dispersa verso l'esterno, in kJ;

Q_s è l'energia gratuita, dovuta agli apporti solari, in kJ;

Q_h = Q_l - Q_s è l'energia utile dispersa dal locale, al netto degli apporti, che deve essere fornita dall'impianto di riscaldamento per mantenere la temperatura ambiente al valore di progetto, in kJ.

Con riferimento all'esempio sopra riportato, per mantenere nel locale (sia esso isolato o meno) la temperatura ambiente di progetto, l'energia Q_h

dispersa deve essere reintegrata dall'impianto di riscaldamento.

In realtà, il corpo scaldante dovrà fornire una quantità di energia maggiore di Q_h , e la caldaia dovrà bruciare una quantità di energia primaria ancora maggiore di quella emessa dal corpo scaldante, in quanto i sistemi di riscaldamento reali non sono in grado di eliminare completamente alcune perdite di calore.

Il miglioramento delle prestazioni termiche degli impianti di riscaldamento non può prescindere da un'attenta analisi dei quattro rendimenti che li caratterizzano.

Poiché i rendimenti possono essere riferiti ad un periodo di tempo prefissato, occorre chiarire che i rendimenti interessanti ai fini del risparmio energetico sono quelli medi stagionali, dai quali dipende il consumo di energia primaria (combustibile).

2. IL RENDIMENTO DI EMISSIONE

Il rendimento di emissione individua l'influenza del modo di emissione del calore sulle perdite di calore dovute a trasmissione localizzata, stratificazione dell'aria, movimenti dell'aria ecc.

Il rendimento di emissione è definito come il rapporto fra il calore richiesto per il riscaldamento degli ambienti con un sistema di emissione teorico di riferimento in grado di fornire una temperatura ambiente perfettamente uniforme ed uguale nei vari locali ed il sistema di emissione reale, nelle stesse condizioni di temperatura ambiente e di temperatura esterna.

Esempio n. 2: calcolo dell'energia dispersa verso l'esterno da un locale di abitazione in un'ora, nel periodo medio stagionale.

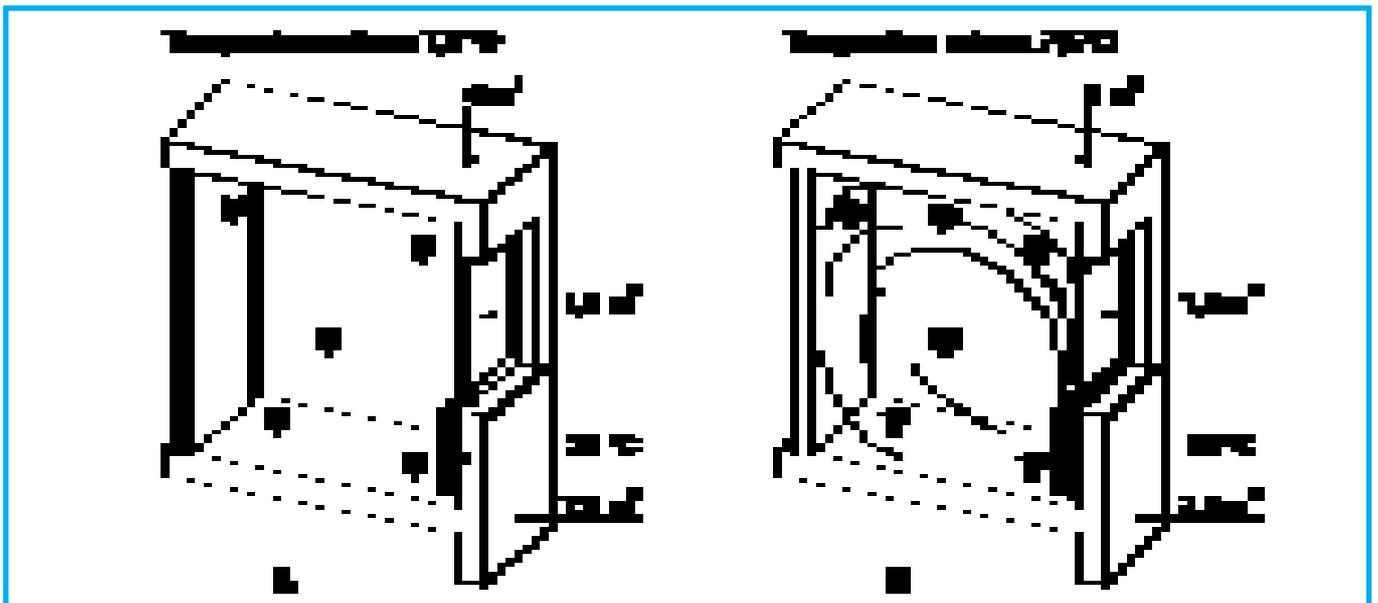


Fig. n. 2: Distribuzione delle temperature con un sistema di emissione reale, confrontata con quella del sistema di emissione teorico di riferimento

A: Sistema di emissione teorico di riferimento

S (m ²)	U (W/m ² K)	Δt (°C)	τ (s)	Q _l (kJ)
16,5	0,6	12,5	3.600	446
1,5	2,3	12,5	3.600	155
			Totale	601

B: Sistema di emissione reale

S (m ²)	U (W/m ² K)	Δt (°C)	τ (s)	Q _{hae} (kJ)
15,5	0,6	13,5	3.600	452
1,5	2,3	13,5	3.600	168
1,0 (*)	0,6	22,5	3.600	49
			Totale	669

(*) parete dietro il corpo scaldante

Il rendimento di emissione risulta, nel caso esemplificato:

$$\eta_e = \frac{Q_h}{Q_{hae}} = \frac{601}{669} = 0,9$$

dove:

Q_h rappresenta la quantità di energia occorrente per riscaldare l'ambiente con il sistema di emissione teorico di riferimento;

Q_{hae} rappresenta invece il fabbisogno di calore occorrente con il sistema reale di emissione, a parità di condizioni esterne e di benessere interno.

La verifica del rendimento di emissione non è agevole, per cui conviene adottare tutti quegli accorgimenti in grado di migliorarne il valore quali: bassa temperatura di mandata di progetto, buon isolamento termico della parete retrostante il corpo scaldante, mensole atte a deviare i flussi convettivi verso l'interno del locale e taglio termico delle mensole stesse.

- 1) Isolamento termico con resistenza termica $> 1 \text{ m}^2\text{K/W}$.
- 2) Superficie riflettente della parete interna.
- 3) Corretto posizionamento del corpo scaldante (almeno 2 cm dalla parete, 10 cm dal pavimento e 10 cm dalla mensola).
- 4) Mensola con taglio termico.

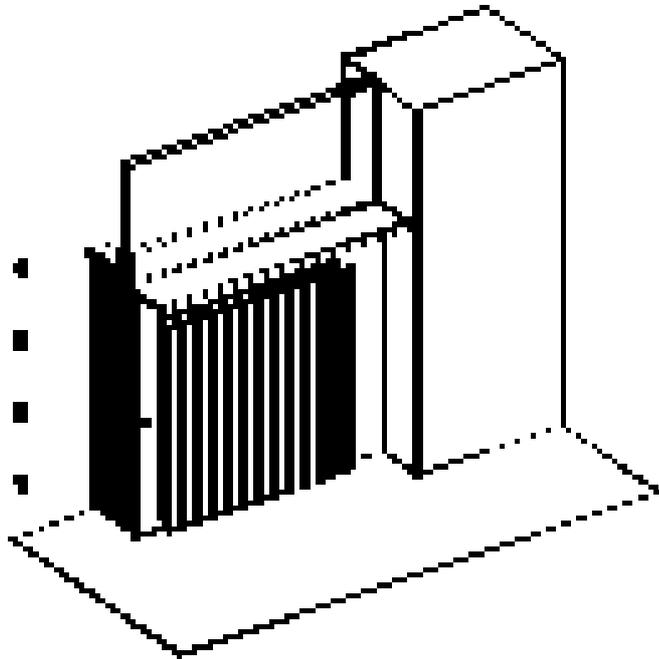


Fig. n. 3: Provvedimenti in grado di migliorare il rendimento di emissione

La norma UNI 10348 ha così tabulato i rendimenti di emissione dei vari tipi di corpi scaldanti, ai fini

del calcolo dell'energia.

VALORI CONVENZIONALI DEL RENDIMENTO DI EMISSIONE η_e	
Terminale di erogazione	η_e
Termoconvettori	0,99
Ventilconvettori	0,98
Bocchette aria calda	0,97
Pannelli radianti isolati dalle strutture (*)	0,97
Pannelli radianti annegati nella struttura (*)	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 $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

RADIATORI			
Temperatura di mandata	Posizione di installazione		
	Su parete divisoria interna o su parete esterna isolata e con superficie riflettente	Su parete divisoria interna o su parete esterna isolata, senza superficie riflettente	Su parete esterna non isolata ($U > 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$)
85 °C	0,96	0,94	0,90
65 °C	0,99	0,97	0,93

Si tratta di valori indicativi che non hanno per ora un riscontro sperimentale, peraltro non agevole.

Sono comunque provvisoriamente utilizzabili nelle diagnosi energetiche degli edifici adibiti ad abitazione, in quanto rispondenti all'attuale stato delle conoscenze.

Qualche cautela va invece utilizzata nell'attribuire i suddetti rendimenti agli edifici industriali, in particolare a quelli di notevole altezza, caratterizzati da un gradiente di temperatura rilevante. In tali casi il rendimento di emissione è generalmente peggiore di quello indicato in tabella e va valutato caso per caso, valutando l'incremento delle dispersioni causato dalla disuniformità della temperatura ambiente specifica del caso.

3. IL RENDIMENTO DI REGOLAZIONE

Il sistema di regolazione ha il compito di adattare

la quantità di calore necessaria in ogni momento ed in ogni ambiente per mantenere la temperatura prefissata.

Un sistema di regolazione che non risponde accuratamente, velocemente ed in ogni parte del fabbricato, ad immettere la quantità di energia richiesta, è causa di oscillazioni o comunque di deviazioni della temperatura ambiente rispetto al valore prefissato. Queste deviazioni sono causa di maggiori dispersioni di calore, da cui il concetto di rendimento di regolazione.

Il rendimento di regolazione η_c è il rapporto fra il calore richiesto per il riscaldamento degli ambienti con una regolazione teorica perfetta ed il calore richiesto per il riscaldamento degli stessi ambienti con l'impianto di regolazione reale.

Esempio n. 3: calcolo dell'energia dispersa verso l'esterno da un locale di abitazione in un'ora, nel periodo medio stagionale.

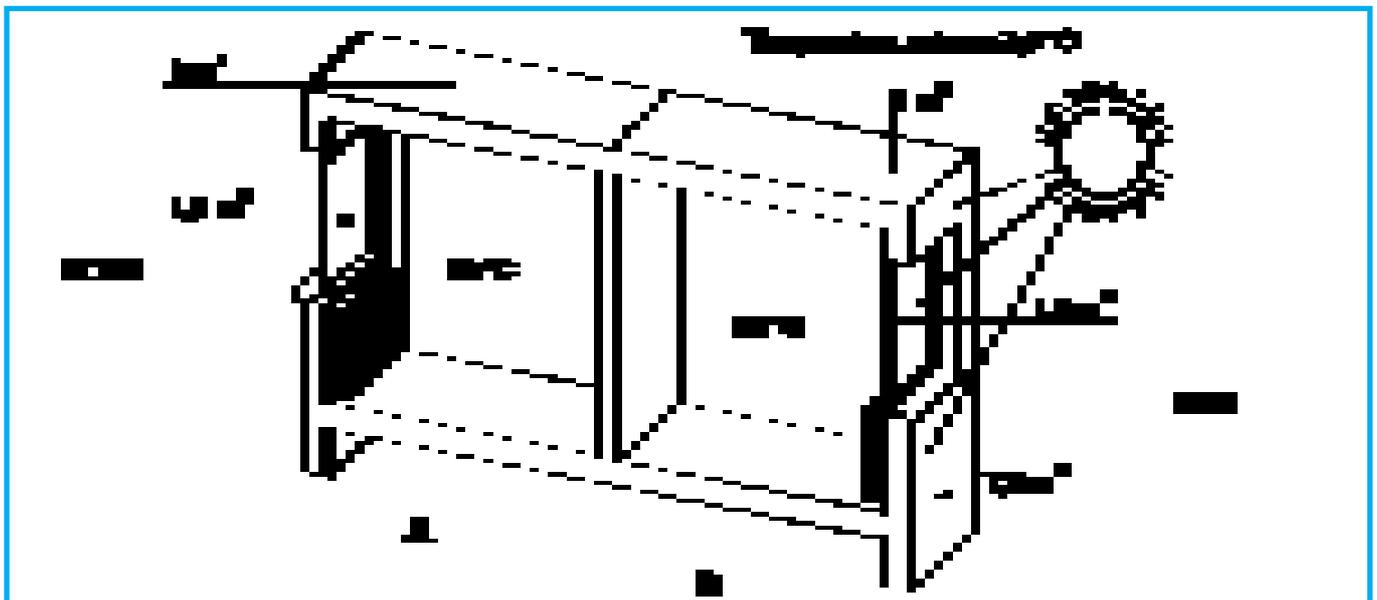


Fig. n. 4: Sistema di regolazione teorico di riferimento

A: Locale a nord

S (m ²)	U (W/m ² K)	Δt (°C)	τ (s)	Q _h (kJ)
16,5	0,6	12,5	3.600	446
1,5	2,3	12,5	3.600	155
			Q _h =	601

B: Locale a sud

S (m ²)	U (W/m ² K)	Δt (°C)	τ (s)	Q _h (kJ)
16,5	0,6	12,5	3.600	446
1,5	2,3	12,5	3.600	155
			Q _s =	61
			Q _h =	540

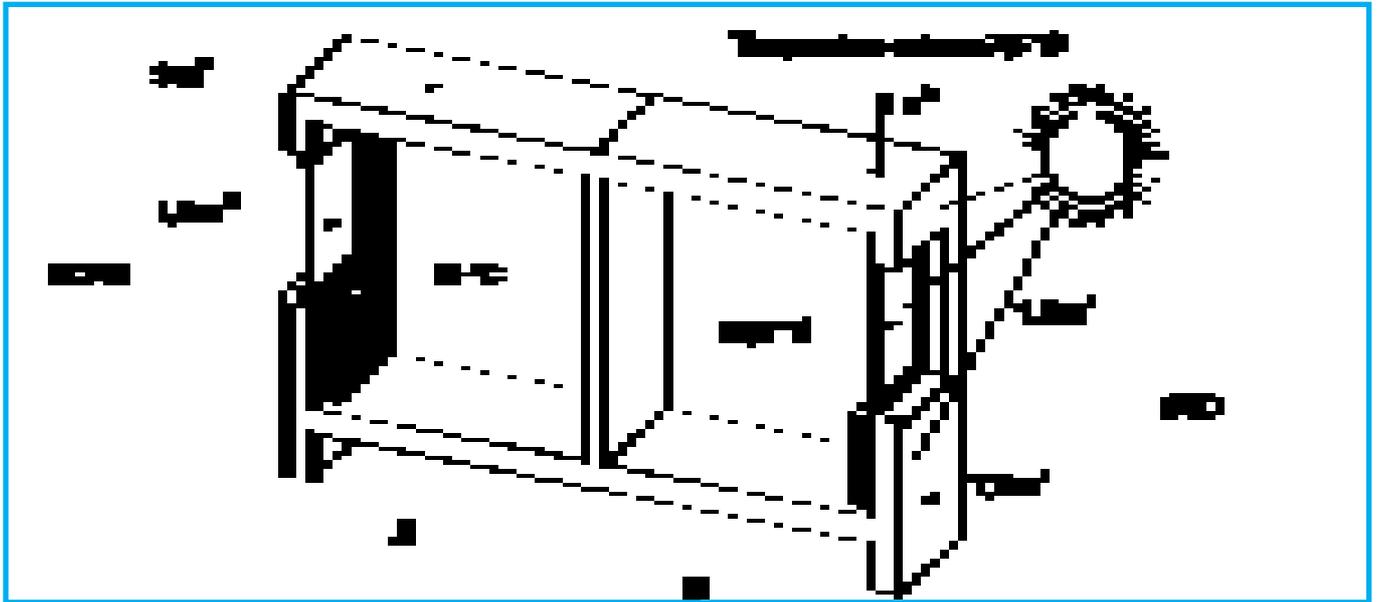


Fig. n. 5: Sistema di regolazione reale (nel caso: regolazione centrale)

A: Locale nord

S (m ²)	U (W/m ² K)	Δt (°C)	τ (s)	Q _{hac} (kJ)
16,5	0,6	12,5	3.600	446
1,5	2,3	12,5	3.600	155
			Q _{hac}	601

B: Locale a sud

S (m ²)	U (W/m ² K)	Δt (°C)	τ (s)	Q _{hac} (kJ)
16,5	0,6	15	3.600	535
1,5	2,3	15	3.600	186
			Q _{hac}	721

Il rendimento di regolazione risulta, nel caso esemplificato:

$$\eta_c = \frac{Q_h}{Q_{hac}} = \frac{601 + 540}{601 + 721} = 0,86$$

dove:

Q_h rappresenta la quantità di energia occorrente per riscaldare gli ambienti con il sistema di regolazione teorico perfetto;

Q_{hac} rappresenta invece il fabbisogno di calore occorrente con il sistema di regolazione reale, a parità di condizioni esterne e di benessere interno.

La norma UNI 10348 fornisce sotto forma tabulare i dati convenzionali riferiti alle tipologie di prodotto e di impianto normalmente usate ed invita ad utilizzare tali valori ogniqualvolta "dati precisi sulle effettive caratteristiche del sistema di regolazione

non sono note”.

Siccome la verifica o la determinazione sperimentale dei rendimenti di regolazione non è agevole, conviene precisare che i rendimenti forniti dalla norma UNI vanno utilizzati nel calcolo convenzionale dell'energia per gli edifici adibiti ad abitazione in quanto corrispondenti all'attuale stato delle

conoscenze.

Per gli edifici industriali valgono considerazioni analoghe a quelle riportate con riferimento al rendimento di emissione.

I rendimenti di regolazione proposti dalla norma UNI 10348, in funzione dalla tipologia di prodotto e della tipologia di impianto, sono i seguenti:

Sistema di regolazione	Tipologia di prodotto	Radiatori e convettori	Pannelli radianti isolati dalla struttura	Pannelli radianti annegati nella struttura
Regolazione manuale	Termostato di caldaia	$0,96 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$	$0,94 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$	$0,90 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$
Climatica centralizzata	Regolatore climatico e/o ottimizzatore	$1 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$	$0,98 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$	$0,94 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$
Per singolo ambiente senza preregolazione	Regolatore on/off	0,94	0,92	0,88
	Regolatore modulante (banda proporz. 1 °C)	0,98	0,96	0,92
	Regolatore modulante (banda proporz. 2 °C)	0,96	0,94	0,90
Per singolo ambiente + preregolazione climatica	Regolatore on/off	0,97	0,95	0,93
	Regolatore modulante (banda proporz. 1 °C)	0,99	0,98	0,96
	Regolatore modulante (banda proporz. 2 °C)	0,98	0,97	0,95
Di zona senza preregolazione	Regolatore on/off	0,93	0,91	0,87
	Regolatore modulante (banda proporz. 1 °C)	0,97	0,96	0,92
	Regolatore modulante (banda proporz. 2 °C)	0,95	0,93	0,89
Di zona con preregolazione climatica	Regolatore on/off	0,96	0,94	0,92
	Regolatore modulante (banda proporz. 1 °C)	0,98	0,97	0,95
	Regolatore modulante (banda proporz. 2 °C)	0,97	0,96	0,94

I dati si riferiscono al funzionamento continuo dell'impianto con temperatura interna costante od attenuata. In regime intermittente ed in assenza di ottimizzazione (spegnimento notturno dell'impianto) i valori devono essere ridotti di 0,02. Tale riduzione non si applica in presenza di un ottimizzatore.

Per ottenere i migliori rendimenti di regolazione è necessario adottare le tipologie consigliate nella tabella, unitamente a sistemi di riscaldamento caratterizzati da inerzia ridotta, ma non eccessivamente bassa. Una costante di tempo dell'ordine di un'ora, tipica dei corpi scaldanti a convezione

naturale è in grado di offrire i migliori risultati.

4. IL RENDIMENTO DI DISTRIBUZIONE

Il rendimento di distribuzione caratterizza l'influenza della rete di distribuzione sulla perdita passiva

di energia termica (quella non ceduta agli ambienti da riscaldare).

Il rendimento di distribuzione η_d è il rapporto fra la somma del calore utile emesso dai corpi scaldanti e del calore disperso dalla rete di distribuzione all'interno dell'involucro riscaldato dell'edificio ed il

calore in uscita dall'impianto di produzione, immesso nella rete di distribuzione.

Esempio n. 4: calcolo dell'energia dispersa verso l'esterno da un locale di abitazione in un'ora, nel periodo medio stagionale.

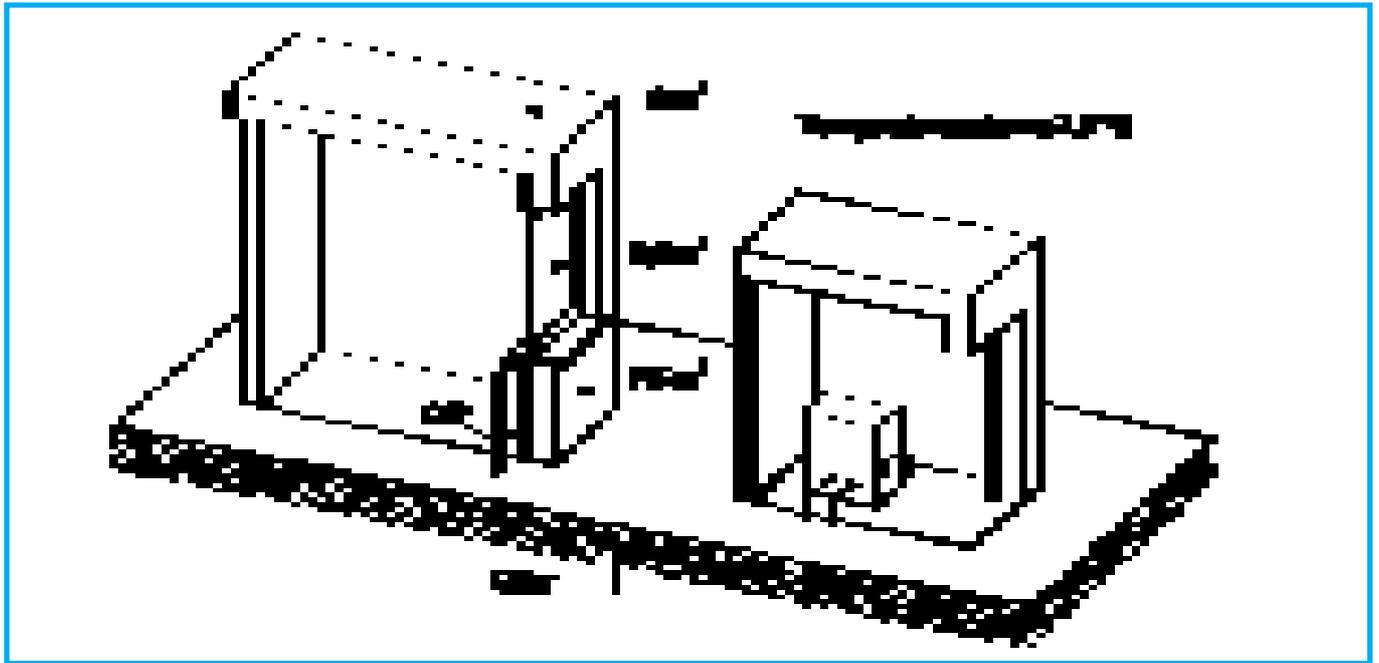


Fig. n. 6: Sistema di distribuzione

Calore disperso dal locale

S (m ²)	U (W/m ² K)	Δt (°C)	τ (s)	Q_{hr} (kJ)
16,5	0,6	12,5	3.600	446
1,5	2,3	12,5	3.600	155
			Totale	601

Calore immesso nella rete di distribuzione

Causa di scambio termico	P media (W)	τ (s)	Q_{pr} (kJ)
$Q_{radiatore}$	158	3.600	569
Q_{dr}	9	3.600	32
Q_{dnr}	15	3.600	54
		Totale	655

Il rendimento di distribuzione risulta, nel caso esemplificato:

$$\eta_d = \frac{Q_{hr}}{Q_{hr} + Q_{dnr}} = \frac{601}{601 + 54} = 0,92$$

dove:

Q_{hr} è l'energia termica richiesta per il riscaldamento della zona, fornita in parte dal corpo scaldante (Q_{rad}) ed in parte dalle tubazioni correnti all'interno dell'involucro riscaldato (Q_{dr} calore disperso recuperato);

Q_{dnr} è l'energia termica dispersa dalla rete di distribuzione corrente all'esterno dell'involucro riscaldato e quindi non recuperata.

Il calcolo dettagliato del calore Q_{dnr} disperso dalla rete di distribuzione e non recuperato va effettuato secondo la norma UNI 10347.

Nel calcolo convenzionale, oppure in assenza di dati sulle caratteristiche costruttive della rete di distribuzione, si possono utilizzare i valori del rendimento di distribuzione forniti dalla norma UNI 10348, validi per le categorie di edifici specificate e nell'ipotesi che il generatore di calore sia installato all'interno dell'edificio.

Tipo di edificio	Volume (m ³)	Altezza edificio (m)		
		5	15	25
a, c	1.000	0,96	0,95	0,94
	5.000	0,96	0,95	0,94
	10.000	0,97	0,96	0,95
	15.000	0,97	0,96	0,95
	20.000	0,98	0,97	0,96
b	1.000	0,95	0,94	0,94
	5.000	0,93	0,93	0,93
	10.000	0,91	0,92	0,93
	15.000	0,89	0,90	0,91
	20.000	0,86	0,87	0,88
a	Edifici nei quali le colonne montanti ed collegamenti con i terminali di emissione sono situati totalmente all'interno degli ambienti riscaldati e le tubazioni che collegano la centrale termica alle colonne montanti sono ubicate nel cantinato.			
b	Edifici nei quali le colonne montanti ed i collegamenti con i terminali di emissione, non isolati termicamente, sono inseriti in traccia nel paramento interno dei tamponamenti esterni, e le tubazioni orizzontali che collegano la centrale termica alle colonne montanti scorrono nel cantinato.			
c	Edifici nei quali le colonne montanti, in traccia o ubicate nelle intercapedini, sono isolate con gli spessori di isolante previsti dalla specifica normativa e sono ubicate all'interno dell'isolamento termico delle pareti.			
NOTA: Nel caso di generatori ubicati all'esterno dell'edificio, il calcolo del rendimento di distribuzione deve sempre essere eseguito utilizzando la procedura di cui alla norma UNI 10347, almeno per la parte di rete localizzata all'esterno dell'edificio.				

I valori del rendimento di distribuzione sopra riportati sono assai incerti e poco riferibili alle tipologie edilizie esistenti: risulta pertanto consigliabile l'uso della norma UNI 10347 ogniqualvolta sia possibile.

Per ottenere valori elevati del rendimento di distribuzione occorre preferire tipologie impiantistiche che prevedano un sistema di distribuzione tutto interno all'involucro riscaldato. Ove non sia possibile evitare percorsi esterni, va previsto un congruo ed accurato isolamento termico delle tubazioni.

5. IL RENDIMENTO DI PRODUZIONE

Il rendimento di produzione è il rapporto fra il calore utile prodotto dall'impianto di produzione ed immesso nella rete di distribuzione e l'energia fornita dalla sorgente energetica (combustibile, elettricità, fluido termovettore) con riferimento, per tutti

i combustibili, al potere calorifico inferiore.

Il rendimento di produzione va calcolato in funzione della potenza della caldaia, del suo fattore di carico, delle perdite di combustione, delle perdite dal mantello, delle perdite al camino a bruciatore spento, della potenza elettrica del bruciatore e delle pompe e delle condizioni di installazione (il valore è compreso fra 0 e 1, salvo che per le caldaie a condensazione, per le quali può superare il valore 1 per via del riferimento al potere calorifico inferiore).

Il concetto di rendimento medio stagionale è particolarmente importante per il rendimento di produzione, per la sua grande variabilità con il variare del periodo di riferimento e dei parametri di dimensionamento e conduzione.

Si tratta di un concetto non nuovo, ma il cui calcolo analitico è stato di recente introdotto dalla norma UNI 10348. Fino ad allora si è sempre parlato di rendimenti istantanei.

5.1. Funzionamento continuo alla potenza nominale.

Quando il generatore funziona a regime continuo al suo carico nominale, le quantità prodotte e le perdite di calore sono quelle di seguito schematizzate.

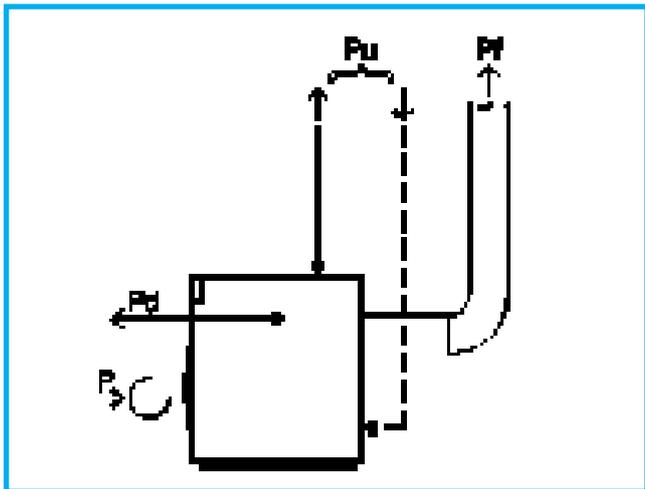


Fig. n. 7: Quantità di calore prodotta e perdite, in un generatore che funziona a regime continuo alla potenza nominale

Le potenze caratteristiche del generatore sono così definite.

P potenza termica del focolare: prodotto del potere calorifico inferiore del combustibile impiegato per la portata di combustibile bruciato (sinonimo di portata termica);

$P - P_f$ potenza termica convenzionale: potenza termica del focolare diminuita della potenza termica persa al camino;

$P_u = P - (P_f + P_d)$ potenza termica utile: potenza termica resa all'acqua ed immessa nella rete di distribuzione.

Le perdite sono invece le seguenti.

P_f potenza termica persa al camino;

P_d potenza termica dispersa dall'involucro della caldaia verso l'ambiente circostante.

Ne conseguono i seguenti rendimenti istantanei:

η_u (rendimento utile) = P_u/P ;

η_c (rendimento di combustione) = $(P - P_f)/P$.

NOTA: Le suddette caratteristiche di potenza, perdite e rendimenti dipendono esclusivamente dalla qualità del prodotto e devono essere dichiarate dal produttore.

5.2. Funzionamento intermittente.

I generatori di calore, negli impieghi reali, funzionano a regime intermittente.

Durante i periodi di arresto del bruciatore, viene sospesa la produzione del calore, ma le perdite non si annullano, come di seguito esemplificato.

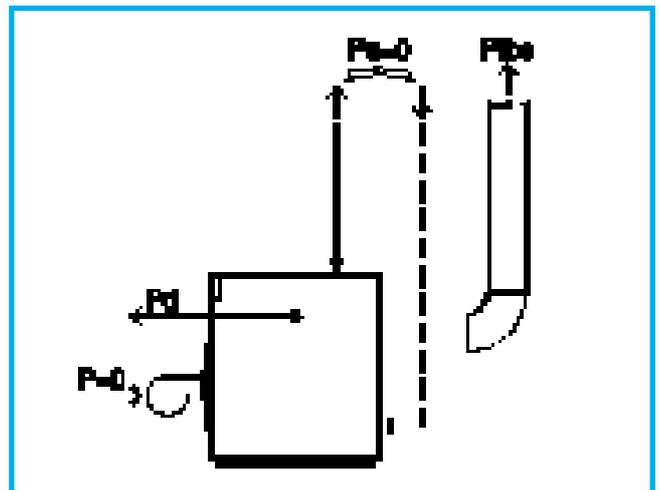


Fig. n. 8: Perdite di calore in un generatore che funziona a regime intermittente, durante i periodi di arresto del bruciatore

Il rendimento medio stagionale tiene conto dell'influenza di tutte le perdite, che si verificano durante i periodi di funzionamento, come pure durante i periodi di arresto del bruciatore. Esso dipende pertanto dal fattore di carico.

Poiché il fattore di carico dei generatori adibiti al riscaldamento di edifici varia notevolmente al variare della stagione, la norma UNI 10348 prevede che il rendimento medio stagionale venga calcolato come media pesata dei valori mensili.

In particolare, la perdita dal mantello P_d , non si modifica, mentre la perdita al camino diminuisce, ma non si annulla:

P_{fbs} è la perdita al camino a bruciatore spento.

La perdita al camino a bruciatore spento è costituita dal calore ceduto dal generatore all'aria che,

aspirata dal camino, entra dalla presa d'aria del bruciatore ed attraversa il generatore.

Essa dipende quindi dal tipo di bruciatore (con o senza serranda sull'aspirazione dell'aria comburente), dalle caratteristiche del camino (altezza e tiraggio) e da quelle del generatore.

Per quanto riguarda le perdite al camino a bruciatore spento P_{fbs} , la norma UNI 10348 prevede che, in assenza di dati più precisi forniti dal costruttore, si utilizzino i dati convenzionali forniti dalla norma stessa.

Esempio n. 5. Si supponga che nel mese di novembre un generatore funzioni mediamente con il seguente ciclo:

bruciatore acceso	300 s	(1/12 h)
bruciatore fermo	1.200 s	(4/12 h)
ciclo on/off	1.500 s	(5/12 h)

e che le perdite caratteristiche siano le seguenti:

P_d	4 %
P_f	12 %
P_{fbs}	0,8 %

Supponendo pari a 100 kW la potenza nominale del focolare, le potenze ed i rendimenti istantanei risulterebbero:

Potenza utile	84 kW
Rendimento utile	84 %
Potenza convenzionale di combustione	88 kW
Rendimento	88 %

Per il calcolo del rendimento medio mensile conviene ricorrere all'energia prodotta nel corso del ciclo acceso/spento.

Durante il periodo di funzionamento del bruciatore l'energia primaria bruciata risulta:

$Q =$	100 kW	3.600 s	1/12	30.000 kJ
-------	--------	---------	------	-----------

Nel corso del periodo le perdite risultano invece:

a) durante il funzionamento del bruciatore:

$Q_{d1} =$	4 kW	3.600 s	1/12	1.200 kJ
$Q_f =$	12 kW	3.600 s	1/12	3.600 kJ

b) durante il periodo di fermata del bruciatore:

$Q_{d2} =$	4 kW	3.600 s	4/12	4.800 kJ
$Q_{fbs} =$	0,8 kW	3.600 s	4/12	960 kJ

per un totale di 10.560 kJ contro una quantità di

energia utile pari a $Q_u = Q - (Q_{d1} + Q_{d2} + Q_f + Q_{fbs}) = 19.440$ kJ.

Il rendimento medio nel periodo considerato risulta pertanto:

$$\eta_m = \frac{Q_u}{Q} = \frac{19.440}{30.000} = 0,65$$

E' interessante notare come i rendimenti istantanei, utili per valutare le prestazioni di un prodotto, non siano invece utili per valutare le prestazioni di una installazione in termini di consumo energetico, alle quali concorrono, oltre alle caratteristiche del prodotto, anche quelle della progettazione (dimensionamento e regolazione) e della conduzione (regime continuo o intermittente).

Il rendimento medio stagionale consente invece una valutazione globale dell'installazione, in termini di consumo energetico.

5.3. Il calcolo del rendimento medio stagionale di produzione secondo la norma UNI 10348.

La norma UNI 10348 fornisce un metodo analitico di calcolo del rendimento medio stagionale di produzione assai preciso, in quanto tiene conto anche del consumo dell'energia primaria corrispondente all'energia elettrica utilizzata per l'azionamento delle apparecchiature di centrale (in particolare bruciatore e pompe).

Il periodo di riferimento è il mese. Il rendimento medio stagionale è ottenuto mediante media pesata dei valori mensili, per i mesi compresi nella stagione.

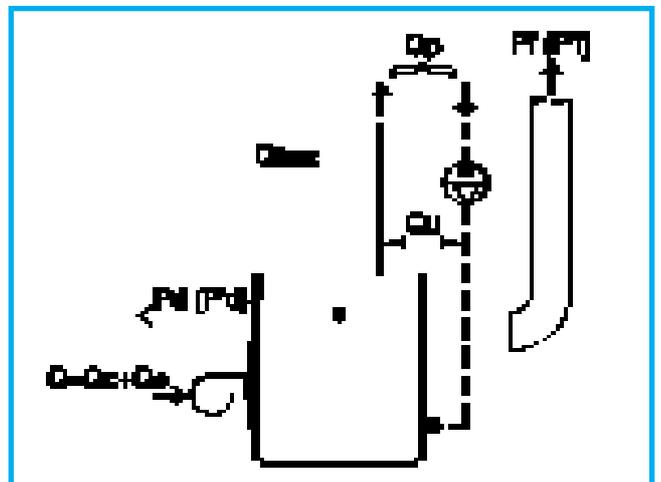


Fig. n. 9: Le principali quantità di calore che interessano il calcolo del rendimento medio stagionale secondo la norma UNI 10348

Il rendimento di produzione è:

$$\eta_p = \frac{Q_p}{Q}$$

dove:

Q_p è l'energia termica prodotta dal sistema ed immessa nella rete di distribuzione, comprensiva dell'equivalente termico dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari, nel periodo considerato;

Q è l'energia primaria consumata dal sistema nello stesso periodo.

L'energia utile prodotta dal generatore è:

$$Q_u = Q_p - Q_{aux}$$

dove:

Q_{aux} è l'energia termica fornita dagli ausiliari al fluido termovettore.

Il fabbisogno di energia primaria del sistema di produzione è:

$$Q = Q_c + Q_e$$

dove:

Q_c è l'energia primaria da fornire al generatore per le conversioni in energia termica;

Q_e è l'energia primaria richiesta per il funzionamento degli ausiliari.

L'energia primaria richiesta per la combustione è data da:

$$Q_c = \frac{(Q_p - Q_{aux})}{\eta_{tu}} = \frac{(Q_p - Q_{po} \eta_{po})}{\eta_{tu}}$$

dove:

Q_p è l'energia termica fornita dal sistema di produzione nel mese;

Q_{po} è l'energia elettrica assorbita dalle pompe di circolazione nel periodo di funzionamento;

η_{po} è la frazione trasferita al fluido dell'energia elettrica assorbita dalle pompe (convenzionalmente assunta pari a 0,85);

η_{tu} è il rendimento termico utile medio mensile del generatore.

L'energia primaria richiesta per il funzionamento degli ausiliari è data da:

$$Q_e = \frac{(Q_{br} + Q_{po})}{\eta_{sen}}$$

dove:

Q_{br} è l'energia elettrica assorbita dal bruciatore nel periodo di funzionamento;

η_{sen} è il rendimento del sistema elettrico nazionale, assunto convenzionalmente pari a 0,36.

Il rendimento termico utile di un generatore, riferito ad un determinato periodo di tempo, è:

$$\eta_{tu} = \frac{Q_u}{Q_c}$$

Nel caso generale di funzionamento discontinuo, il rendimento termico utile, riferito ad un determinato periodo, può essere espresso in funzione delle perdite e del fattore di carico:

$$\eta_{tu} = 1 + F_{br} - [P'_f + \frac{P'_d}{FC} + P'_{fbs} \frac{(1 - FC)}{FC}] / 100$$

F_{br} è la frazione utile dell'energia elettrica assorbita dal bruciatore, rapportata all'energia primaria Q_c :

$$F_{br} = \frac{\eta_{br} \cdot Q_{br}}{Q_c}$$

P'_f sono le perdite al camino a bruciatore funzionante, nelle effettive condizioni di funzionamento, espresse in percentuale del calore fornito:

$$P'_f = P_f \cdot (\Delta\theta / 50)^{0,02} \quad (2)$$

P_f sono le perdite nominali al camino a bruciatore funzionante, espresse in percentuale del calore fornito. (1)

NOTA (1)

- Nel caso di centrali termiche di nuova progettazione, le perdite nominali al camino a bruciatore funzionante P_f sono dichiarate dal costruttore, come prescritto dalla norma UNI 10348.

- Nel caso di centrali termiche esistenti (diagnosi energetica) le perdite al camino P'_f o P_f devono essere desunte dal libretto di centrale o misurate in conformità con la norma UNI 10389.

NOTA (2)

1. Per un errore di trascrizione e per la mancata discussione del documento CTI 6/124 dopo l'inchiesta pubblica, la norma UNI 10348 riporta una formula per il calcolo delle perdite di combustione a carico diverso da quello nomina-

le che non è quella corretta (risulta priva di fondamento scientifico).

La formula elaborata dai competenti tecnici del gruppo di lavoro era la seguente:

$$P'_f = P_f \cdot \left[\frac{(800 + t_f) / 2 - 70}{(800 + t_f) / 2 - t_m} \right] FC^n$$

P'_f sono le perdite di combustione nelle condizioni di esercizio;

P_f è il valore nominale delle perdite di combustione;

t_f è il valore della temperatura dei fumi allo scarico dal generatore;

t_m è il valore della temperatura media dell'acqua nel generatore;

FC è il fattore di carico;

n è l'esponente di FC , che può assumere i seguenti valori:

caldaia murale leggera	0,05
caldaia murale o a basamento in ghisa	0,15
caldaia in acciaio avente $P > 35$ kW	0,10
caldaia in ghisa avente $P < 35$ kW	0,15

Anche per questa formula va tuttavia tenuto presente che, nella elaborazione degli algoritmi, è stato valutato, ma rimane da provare, il comportamento probabile di generatori di potenza dell'ordine dei 200 kW, di massa notevole e con passaggi dei fumi abbondantemente alettati; la sua applicabilità a generatori di caratteristiche completamente diverse (scambiatori di massa minima, con alettature di massa addirittura trascurabile) va a maggior ragione verificata con prove.

- Le formule non tengono conto del tipo di regolazione. Per i generatori unifamiliari, le perdite al camino a bruciatore spento dipendono in misura preponderante dalle modalità di regolazione: se la regolazione è effettuata con azione sulla pompa di circolazione, tali perdite diminuiscono rapidamente in seguito al blocco della circolazione del fluido termovettore; se la regolazione è invece effettuata sul bruciatore, con circolazione permanente del fluido nello scambiatore, le perdite al camino a bruciatore spento rimangono invece praticamente costanti durante tutto il periodo di spegnimento del bruciatore.
- Nella determinazione delle perdite al camino, tanto di combustione, che a bruciatore spento, le formule non tengono conto dell'influenza del tipo di intermittenza conseguente alle caratteristiche di inerzia e differenziale del termostato e di quella del prelavaggio.
- Non è descritto dalle norme il comportamento di prodotti molto usati quali: bruciatori modulanti, caldaie con inserimento in cascata, apparecchi di tipo "C", caldaie a condensazione, ecc.; per questi prodotti il progettista dovrà procedere con espedienti che simulino il loro comportamento in esercizio, come, per esempio nel caso di inserimento in cascata, la simulazione di una potenza minore, atta a rappresentare il carico termico più elevato; le modalità di calcolo andrebbero tuttavia esplicitate in una nota tecnica.

Nonostante i problemi evidenziati, si ritiene che le formule

consentano di valutare, almeno qualitativamente, il comportamento dei generatori di calore di diverse caratteristiche nelle diverse condizioni di impiego, evidenziando importanti aspetti sinora sottovalutati.

I progettisti auspicano che i produttori di generatori di calore mettano in cantiere le prove necessarie per fornire i dati sperimentali occorrenti per calcoli più puntuali e più specifici per ogni tipologia di prodotto.

P'_d sono le perdite per trasmissione dall'involucro verso l'ambiente di installazione, nelle effettive condizioni di funzionamento, espresse in percentuale del calore fornito:

$$P'_d = P_d (\Delta\theta / 50)$$

P_d sono le perdite nominali per trasmissione dall'involucro verso l'ambiente di installazione, espresse in percentuale del calore fornito. (3)

NOTA (3)

- Nel caso di centrali termiche di nuova progettazione, le perdite nominali dal mantello P_d (riferite ad una differenza di temperatura di 50 °C fra acqua in caldaia ed ambiente di installazione) sono dichiarate dal costruttore, come prescritto dalla norma UNI 10348.
- Nel caso di centrali termiche esistenti (diagnosi energetica) le perdite dal mantello P_d possono essere valutate mediante misure della temperatura superficiale del mantello, oppure possono essere utilizzati i valori nominali convenzionali forniti dalla norma UNI 10348:

Valori convenzionali delle perdite dal mantello P_d (Solo per generatori esistenti alla data del 01.08.94)	
Tipo di generatore	P_d (%) con Φ_{cn} in kW
In ottimo stato, ad alto rendimento	1,72 - 0,44 $\log \Phi_{cn}$
In ottimo stato, ben isolato	3,45 - 0,88 $\log \Phi_{cn}$
Obsoleto e mediamente isolato	6,90 - 1,76 $\log \Phi_{cn}$
Obsoleto e male isolato	8,63 - 2,20 $\log \Phi_{cn}$
Obsoleto e privo di isolamento	10,35 - 2,64 $\log \Phi_{cn}$

Va tenuto presente che le perdite nominali dal mantello tabulate nelle norme, come pure quelle dichiarate dal costruttore, vanno intese, salvo che sia diversamente specificato, come riferite ad un tipo di installazione che non consente nessun recupero di calore (per esempio installazione di generatori all'esterno dell'involucro riscaldato).

Nel caso di installazione del generatore all'interno dell'involucro riscaldato (per esempio in cucina) si consiglia di utilizzare un valore di perdita nominale P_d^* , minore di P_d , per tenere conto della parte di perdita recuperata.

Si propone l'adozione dei seguenti valori nominali:

$P_d^* = 0,1$ P_d per generatori unifamiliari tipo C installati nell'ambiente riscaldato;

$P_d^* = 0,2$ P_d per generatori unifamiliari tipo B installati nell'ambiente riscaldato;

$P_d^* = 0,7$ P_d per generatori di qualsiasi tipo installati in centrale termica.

P'_{fbs} sono le perdite al camino a bruciatore spento, nelle effettive condizioni di funzionamento, espresse in percentuale del calore fornito.

$$P'_{fbs} = P_{fbs} \cdot (\Delta\theta / 50)$$

P_{fbs} sono le perdite nominali al camino a bruciatore spento, espresse in percentuale del calore fornito. (4) (2.2 e 2.3)

NOTA (4)

In assenza di dati più precisi forniti dal costruttore, le perdite nominali al camino a bruciatore spento P_{fbs} possono essere desunte dai valori convenzionali nominali (riferiti ad una differenza di temperatura fra acqua in caldaia ed ambiente di 50 °C) forniti dalla norma UNI 10348:

VALORI NOMINALI CONVENZIONALI DELLE PERDITE AL CAMINO A BRUCIATORE SPENTO P_{fbs} (Validi per centrali termiche di nuova progettazione) (*)	
Tipo di generatore	P_{fbs} (%)
A combustibile liquido o a gas con bruciatore ad aria soffiata con serranda sull'aspirazione dell'aria comburente che garantisca una buona chiusura dell'aspirazione a bruciatore fermo	0,1
A combustibile liquido o a gas con bruciatore ad aria soffiata senza serranda sull'aspirazione dell'aria comburente: - con camino di altezza fino a 10 metri - con camino di altezza maggiore di 10 metri	0,6 0,8
A gas con bruciatore atmosferico e rompitiraggio	0,6
Nota (*): Per centrali termiche esistenti i valori sopra riportati vanno aumentati di 0,2 punti percentuali.	

FC è il fattore di carico riferito alla potenza del focolare:

$$FC = \frac{Q_c}{Q_{cn}}$$

Q_c è l'energia primaria richiesta dal generatore al carico parziale nel periodo considerato;

Q_{cn} è l'energia primaria richiesta dal generatore in funzionamento continuo al carico nominale nello stesso periodo.

Il fattore di carico del focolare FC è esprimibile come:

$$FC = \frac{P'_d + P'_{fbs} + [(1 + F_{br}) \cdot 100 - P_f - P_d] \cdot CP}{(1 + F_{br}) \cdot 100 - P'_f + P'_{fbs}}$$

Il fattore di carico riferito all'energia utile CP è:

$$CP = \frac{Q_u}{Q_p - Q_{po} \cdot \eta_{po}}$$

$$Q_{un} \quad \Phi_{un} \cdot t_a$$

Φ_{un} è la potenza utile nominale del sistema di produzione;

t_a è la durata del periodo in cui il sistema di generazione è predisposto al funzionamento.

Il rendimento di produzione medio stagionale è rappresentato dal rapporto tra l'energia termica utile prodotta durante la stagione di riscaldamento e l'energia primaria fornita al sistema nello stesso periodo:

$$\eta_{p,s} = \frac{Q_{p,s}}{Q_s}$$

$Q_{p,s}$ è l'energia termica utile prodotta dal sistema di produzione durante la stagione di riscaldamento;

Q_s è l'energia primaria fornita al sistema di produzione durante la stagione di riscaldamento.

L'energia termica utile prodotta dal sistema durante la stagione di riscaldamento è:

$$Q_{p,s} = \sum_{j=i}^f Q_{p,j}$$

i è il mese iniziale del periodo di riscaldamento;

f è il mese finale del periodo di riscaldamento;

Q_p è il fabbisogno di energia termica utile nel mese j^{esimo} , calcolato in conformità con le indicazioni della norma UNI 10344.

Il fabbisogno di energia primaria nella stagione di riscaldamento è:

$$Q_s = \sum_{j=i}^f Q_j$$

dove:

Q_j è il fabbisogno di energia primaria nel mese j^{esimo} .

6. ALCUNE CONSIDERAZIONI

I nuovi metodi di calcolo del rendimento medio stagionale resi disponibili dalla norma UNI 10348 hanno consentito di evidenziare due importanti questioni.

1. Spesso i generatori a gas che offrono un campo di potenza sono modulati solo sul gas e non sull'aria comburente. Ne deriva un rendimento di combustione inferiore di diversi punti, rispetto a quello nominale. Le perdite verso l'ambiente ed al camino a bruciatore spento rimangono invece pressoché costanti in valore assoluto, ma aumentano in termini percentuali, se riferiti ad una potenza inferiore.

Il risultato di questo stato di cose è un rendimento medio stagionale molto basso, ed un rendimento di combustione normalmente sotto i valori minimi consentiti dal D.P.R. 412/93. Risulta in ogni caso inaccettabile che una misura adottata per conformarsi con una legge sul risparmio energetico (la 373/76, che limitava la potenza della caldaia al prodotto $C_g \cdot V \cdot \Delta t$) debba comportare un maggior consumo di combustibile.

La legge 10/91 non impone più limitazioni della potenza. E' pertanto possibile utilizzare i generatori di cui sopra alla loro potenza nominale, in

grado di offrire un maggior rendimento, oppure modificarli in modo da migliorare le loro caratteristiche a carico ridotto.

2. Si ritiene assai limitativa la verifica da parte degli enti di controllo del solo rendimento di combustione.

Gli impianti esistenti funzionano infatti spesso con generatori che, pur fornendo rendimenti di combustione accettabili, presentano un rendimento medio stagionale decisamente antieconomico.

Sono stati segnalati casi di rendimenti medi stagionali inferiori al 50%, pur con rendimenti di combustione nei limiti di legge.

E' pertanto necessario diffondere la cultura della diagnosi energetica o, almeno, l'opportunità del calcolo dei rendimenti medi stagionali.

Ne deriverebbero sicuri vantaggi per gli utenti, che potrebbero finalmente realizzare un consistente risparmio energetico, e per tutti gli operatori del settore, per l'entità degli interventi che potrebbero derivare da una chiara comprensione del problema da parte dei diretti utilizzatori.