

Calcolo dell'energia primaria

ing. Meccanica

Marco Manzan

Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

aprile 2021

Tipologie di calcolo

Calcolo potenza [W]

- dimensionamento generatore
- dimensionamento reti distribuzione
- dimensionamento terminali
- condizioni esterne di progetto (condizioni più severe)

Calcolo energia [MJ, kWh]

- previsione consumi annuali
- verifica vincoli di legge
- certificazione energetica

Gradi Giorno

- Il grado di severità del clima del territorio nazionale è determinato utilizzando i gradi giorno GG
- ogni comune è caratterizzato da un valore di gradi giorno
- viene definito come la somma delle sole differenze, solopositive, positive tra la temperatura interna e quella esterna media nella stagione di riscaldamento
- la temperatura interna è $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$GG = \sum_j^{ng} (\theta_i - \theta_{ej})$$

θ_i temperatura interna

θ_{ej} temperatura media giornaliera esterna

ng numero di giorni del periodo di riscaldamento

Suddivisione del territorio nazionale

- Il territorio nazionale è suddiviso in 6 fasce climatiche in funzione dei gradi giorno
- la durata convenzionale della stagione di riscaldamento dipende dalla zona climatica

fasce climatiche

Fascia	Da GG	A GG	Ore attivazione	Data inizio	Data fine	Comuni
A	0	600	6	1 dicembre	15 marzo	2
B	601	900	8	1 dicembre	31 marzo	157
C	901	1400	10	15 novembre	31 marzo	989
D	1401	2100	12	1 novembre	15 aprile	1611
E	2101	3000	14	15 ottobre	15 aprile	4271
F	3001		nessuna limitazione			1071

- Decreto 26 giugno 2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. (decreto requisiti minimi)
- Decreto 26 giugno 2015. Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici.
- Decreto 26 giugno 2015. Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 – Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Le specifiche tecniche UNI/TS 11300

UNI/TS 11300-1

Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale

UNI/TS 11300-2

Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

Le specifiche tecniche UNI/TS 11300

UNI/TS 11300-3

Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva

UNI/TS 11300-4

Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria

Le specifiche tecniche UNI/TS 11300

UNI/TS 11300-5

Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e dalla quota di energia da fonti rinnovabili

UNI/TS 11300-6

Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 6: Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori e scale mobili

- La specifica 11300-1 definisce le modalità di applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008
- viene utilizzata per determinare i fabbisogni di energia termica per riscaldamento $Q_{H,nd}$ e per raffrescamento $Q_{C,nd}$
- si applica ai casi previsti dalla UNI EN ISO 13790:2008:

utilizzo

- calcolo di progetto (*design rating*)
- valutazione energetica di edifici con calcolo in condizioni standard (*asset rating*)
- valutazione energetica in particolari condizioni di esercizio o climatiche (*tailored rating*)

Termini e definizioni

Ambiente climatizzato

vano o spazio chiuso che, ai fini del calcolo, è considerato riscaldato o raffrescato a determinate temperature di regolazione

Edificio

è un sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; la superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici; il termine può riferirsi a un intero edificio ovvero a parti di edificio progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti

Zona termica

Parte dell'ambiente climatizzato mantenuto a temperatura uniforme attraverso lo stesso impianto di climatizzazione

temperatura interna

Climatizzazione invernale

Ambienti Riscaldati

- 20 °C per tutte le categorie tranne le seguenti
- 28 °C per categoria E.6(1)
- 18 °C per categoria E.6(2) ed E.8

temperatura degli edifici confinanti

- dipendente dalla destinazione d'uso
- 20 °C per edifici confinanti riscaldati di cui non è nota la destinazione d'uso
- dall'appendice A di UNI EN ISO 13789:2008 per edifici confinanti non riscaldati, o alla tabella della UNI EN 12831

Temperatura interna

Climatizzazione estiva

Ambienti climatizzati

La temperatura interna assume il valore

- 26 °C per tutte le categorie tranne le seguenti
- 28 °C per categoria E.6(1)
- 24 °C per categoria E.6(2)
- 26 °C edifici adiacenti

Fabbisogni Energia Termica

La procedura consente di calcolare il fabbisogno dell'edificio sia per riscaldamento che per raffrescamento

riscaldamento

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

raffrescamento

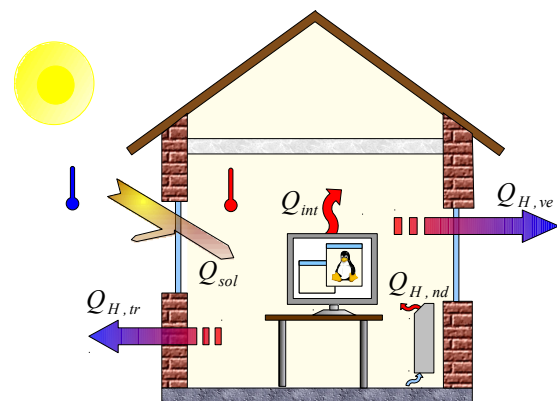
$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,is} \times Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,is} \times (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

Bilancio termico

caso invernale

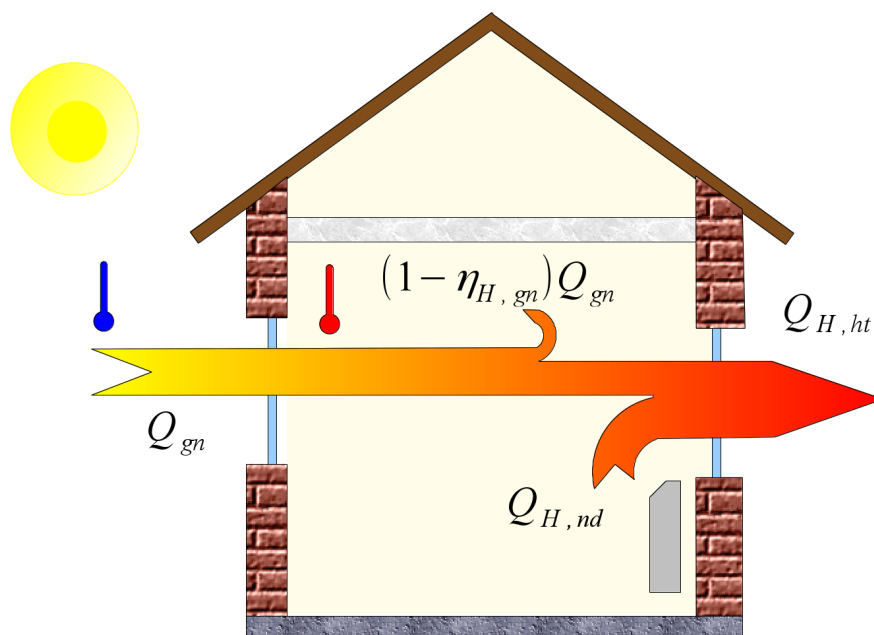
$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \times (Q_{int} + Q_{sol})$$

- $Q_{H,nd}$ Calore fornito dall'impianto
- Q_{gn} Calore dovuto agli apporti gratuiti
- $Q_{H,ht}$ Calore disperso per trasmissione e ventilazione
- $Q_{H,tr}$ Calore scambiato per trasmissione con l'esterno
- $Q_{H,ve}$ Calore scambiato per ventilazione
- Q_{sol} Calore dovuto ai carichi solari
- Q_{int} Calore proveniente dai carichi interni



Bilancio Invernale

$$Q_{H,ht} = Q_{H,nd} + \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn}$$

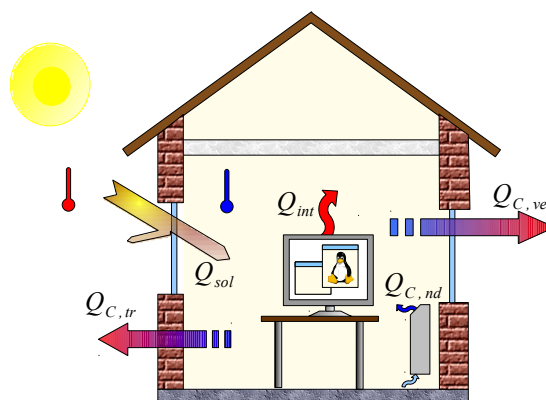


Bilancio termico

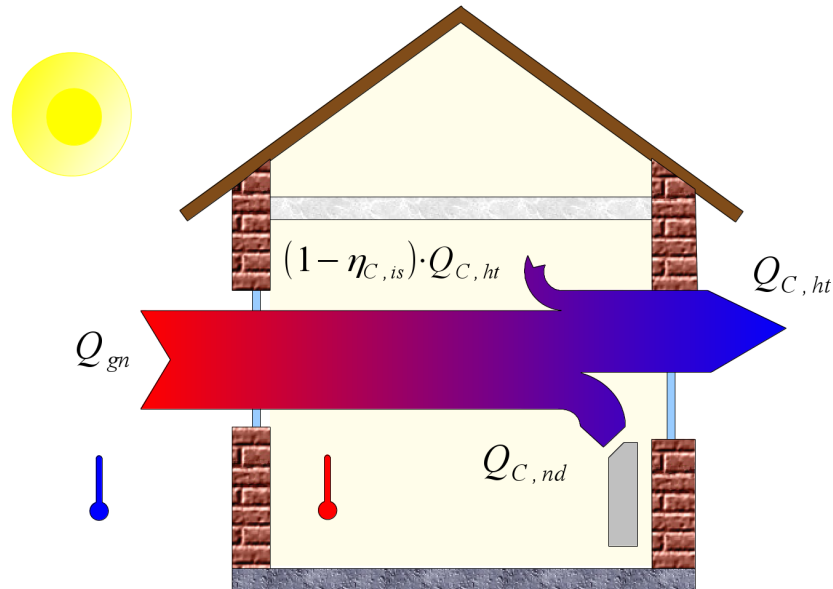
caso estivo

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

- $Q_{C,nd}$ Calore fornito dall'impianto (sottratto)
- Q_{gn} Calore dovuto agli apporti gratuiti
- $Q_{C,ht}$ Calore disperso per trasmissione e ventilazione
- $Q_{H,tr}$ Calore scambiato per trasmissione con l'esterno
- $Q_{H,ve}$ Calore scambiato per ventilazione
- Q_{sol} Calore dovuto ai carichi solari
- Q_{int} Calore proveniente dai carichi interni



$$Q_{gn} = Q_{C,nd} + \eta_{C,is} \times Q_{C,ht}$$



Calcolo scambi termici

Gli scambi termici assumono la stessa forma sia per il riscaldamento che per il raffreddamento

Riscaldamento

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} \times (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \times t + \{ \sum_k F_{r,k} \Phi_{r,mn,k} \} \times t - Q_{sol,op}$$

$$Q_{H,ve} = H_{ve,adj} \times (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \times t$$

Raffrescamento

$$Q_{C,tr} = H_{tr,adj} \times (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \times t + \{ \sum_k F_{r,k} \Phi_{r,mn,k} \} \times t - Q_{sol,op}$$

$$Q_{C,ve} = H_{ve,adj} \times (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \times t$$

$H_{tr,adj}$ coefficiente globale di scambio termico per trasmissione

$\Phi_{r,mn,k}$ extraflusso dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

$F_{r,k}$ fattore di forma tra componente edilizio e volta celeste

$Q_{solo,op}$ apporti solari gratuiti su superfici opache

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

$$H_{ve,adj} = \rho_a \times c_a \times \left\{ \sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn} \right\}$$

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \times q_{ve,k}$$

$q_{ve,k,mn}$ portata d'aria mediata nel tempo

$b_{ve,k}$ fattore di correzione della temperatura, tiene conto della presenza di recuperatori;

$f_{ve,t,k}$ frazione di tempo in cui si verifica il flusso d'aria k;

$q_{ve,k}$ portata del flusso d'aria k-esimo.

radiazione verso volta celeste

La radiazione verso volta celeste viene trattata come una dispersione aggiuntiva per le strutture opache

$$\Phi_r = R_{se} \times U_c \times A_c \times h_r \times \Delta\theta_{er}$$

R_{se} resistenza esterna

U_c trasmittanza componente esterno

A_c area dell'elemento

h_r coefficiente di scambio termico radiativo

$\Delta\theta_{er}$ differenza di temperatura media tra aria esterna e volta celeste

Componenti Trasparenti

calcolo secondo UNI EN 10077-1

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + \Psi_l L_g}{A_g + A_f}$$

- U_g trasmittanza elemento vetrato
- U_f trasmittanza termica del telaio
- Ψ_l trasmittanza dei distanziali
- L_g Lunghezza perimetrale della superficie vetrata
- A_g Area vetro
- A_f area telaio

valori precalcolati in appendice

- B1 trasmittanza vetri
- B2 trasmittanza telai
- B3 finestre

Componenti Trasparenti

Effetto chiusure oscuranti

$$U_{w,corr} = U_{w+shut} \times f_{shut} + U_w \times (1 - f_{shut})$$

- U_w trasmittanza finestra senza chiusura oscurante
- U_{w+shut} trasmittanza finestra con chiusura oscurante, nel prospetto B.4 sono riportati valori di ΔR
- $U_{w,corr}$ trasmittanza finestra corretta
- f_{shut} parametro che tiene conto del profilo orario di utilizzo e della differenza di temperatura interna esterna, $f_{shut} = 0,6$

scambio con il terreno

- Edifici nuovi: si utilizza UNI EN ISO 13370
- viene introdotto un metodo semplificato di calcolo per edifici esistenti
- il metodo semplificato va adottato se non esistono dati di progetto attendibili

metodo semplificato

$$H_g = A \times U_f \times b_{tr,g}$$

- A area pavimento
 U_f trasmittanza termica del pavimento
 $b_{tr,g}$ fattore di correzione

Ambiente confinante	$b_{tr,g}$
Pavimento controterra	0,45
Parete controterra	0,45
Pavimento su vespaio aerato	0,80

Coefficiente di perdita per trasmissione attraverso spazi non riscaldati

$$H_U = L_{iu} \cdot b; \quad b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

- L_{iu} coefficiente di accoppiamento termico tra spazio riscaldato e quello non riscaldato;
 H_{iu} coefficiente di perdita di calore da spazio riscaldato a non riscaldato
 H_{ue} coefficiente di perdita di calore da spazio non riscaldato e l'esterno;

Ambienti non riscaldati

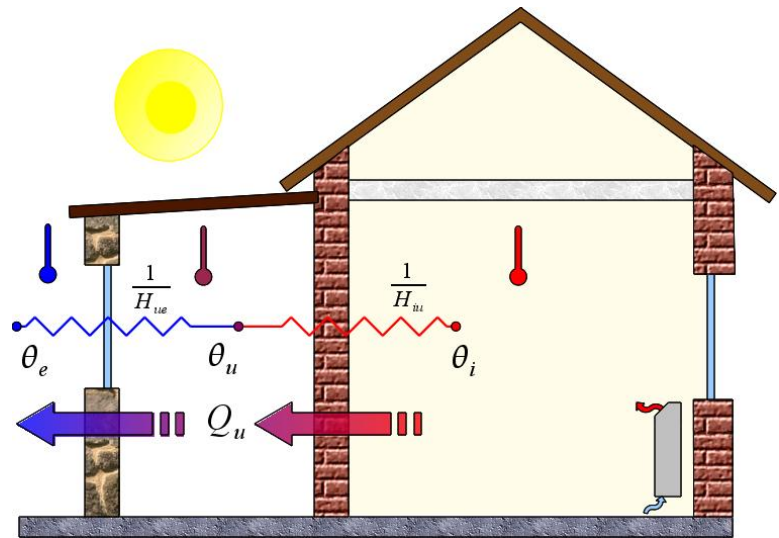
edifici nuovi

analogia elettrica

$$H_U = H_{iu} \times \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

$$H_U = H_{iu} \times b_{tr,x}$$

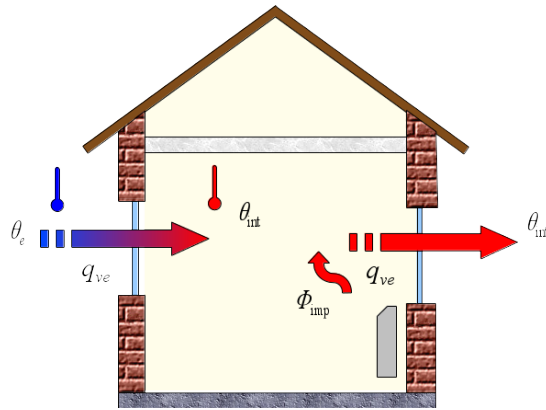
$$b_{tr,x} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$



Ambienti non riscaldati

edifici esistenti

Ambiente confinante	$b_{tr,x}$
Ambiente	
con una parete esterna	0,4
senza serramenti con almeno due pareti esterne	0,5
con serramenti esterni, almeno due pareti esterne	0,6
tre pareti esterne	0,8
Piano interrato o seminterrato	
senza finestre esterne	0,5
con finestre esterne	0,8
Sottotetto	
ventilazione elevata	1,0
altro tetto non isolato	0,9
tetto isolato	0,7
Aree interne di circolazione	0,0
Aree interne di circolazione (rapporto aperture volume maggiore di 0,005 m ² /m ³)	1,0



calcolo potenza di ventilazione

$$\Phi_V = \dot{m}_{ve} \times (h_{int} - h_e) = \rho_a \times q_{ve} \times (h_{int} - h_e) = \rho_a \times q_{ve} \times c_a \times (\theta_{int} - \theta_e)$$

h entalpia

q_{ve} portata volumetrica

\dot{m}_{ve} portata di massa

θ temperatura

c_a calore specifico dell'aria



calcolo dei termini di ventilazione

Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione

$$\Phi_V = \rho \times c_a \times q_{ve} \times (\theta_{int} - \theta_e) = H_{ve} \times (\theta_{int} - \theta_e)$$

$$H_{ve} = \rho \times c_a \times q_{ve}$$

Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione

$$\Phi_V = \rho \times c_a \times q_{ve} \times (\theta_{int} - \theta_e) = H_{ve} \times (\theta_{int} - \theta_e)$$
$$H_{ve} = \rho \times c_a \times q_{ve}$$

UNI/TS 11300-1

$$H_{ve,adj} = \rho_a \times c_a \times \left\{ \sum_k b_{ve,k} \times q_{ve,k,mn} \right\}$$

$\rho_a \times c_a = 1200 \text{ J}/(\text{m}^3 \text{ K})$ capacità termica volumica aria

$q_{ve,k,mn}$ portata mediata del flusso d'aria

$b_{ve,k}$ fattore di correzione se la temperatura è \neq da quella esterna

Determinazione portate

- La portata di ventilazione si ricava in funzione delle minime portate per garantire la qualità dell'aria
- si fa riferimento ai valori riportati nella UNI 10339
- si utilizza la “portata minima di progetto di aria esterna”, $q_{ve,0}$
- il valore può essere calcolato o in funzione del minimo numero di occupanti o rispetto alla superficie

portata minima di progetto

edifici categoria E.1 e E.8

$$q_{ve,0} = \frac{n \times V}{3600}$$

n ricambi aria h^{-1}

V volume della zona

ventilazione naturale

$$q_{ve,k,mn} = q_{ve,0,k} \times f_{ve,t,k}$$

$q_{ve,0,k}$ minima portata di aria esterna

$f_{ve,t,k}$ fattore che tiene conto del tempo di attuazione del flusso (tabellata)

Ventilazione di riferimento

edifici categoria E.1 e E.8

$$q_{ve,k,mn} = q_{ve,0,k} \times f_{ve,t,k}$$

$$q_{ve,0} = \frac{n \times V}{3600}$$

$$n = 0,5$$

$$f_{ve,t,k} = 0.6$$

$$q_{ve,k,mn} = \frac{0,3 \times V}{3600}$$

Calcolo degli apporti termici gratuiti

apporti interni

$$Q_{int} = \left\{ \sum_k \Phi_{int,mn,k} \right\} \times t + \left\{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \Phi_{int,mn,u,l} \right\} \times t$$

apporti solari

$$Q_{int} = \left\{ \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right\} \times t + \left\{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \Phi_{sol,mn,u,l} \right\} \times t$$

$b_{tr,l}$ fattore di riduzione per ambiente non climatizzato

$\Phi_{int,mn,k}$ flusso interno mediato nel tempo

$\Phi_{int,mn,u,l}$ flusso interno dell'ambiente non riscaldato mediato nel tempo

$\Phi_{sol,mn,k}$ flusso termico di origine solare, mediato nel tempo

$\Phi_{sol,mn,u,l}$ flusso termico di origine solare nell'ambiente non riscaldato, mediato nel tempo



apporti interni

Valutazione di progetto o standard

- categoria E.1(1) e E.1 (2)

$$A_f \leq 120 \text{ m}^2 \quad \Phi_{int} = 7,987 \times A_f - 0,0353 \times A_f^2$$

$$A_f > 120 \text{ m}^2 \quad \Phi_{int} = 450 \text{ W}$$

- altre categorie secondo tabella

Categoria edificio	Destinazione	Apporti medi globali [W/m ²]
E.1(3)	albergo, pensioni	6
E.2	uffici	6
E.3	ospedali, cliniche	8
E.4(1)	sale riunioni, congressi, cinema	8
E.4(2)	musei	8
E.4(3)	Bar, ristoranti	10
E.8	attività industriali	6



Apporti solari

- L'apporto solare si calcola allo stesso modo per superfici opache esterne e vetri
- l'unica differenza è il calcolo dell'area di captazione

apporto solare

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k}$$

$F_{sh,ob,k}$ fattore di riduzione per ombreggiatura esterno

$A_{sol,k}$ area di captazione solare effettiva

$I_{sol,k}$ irradianza solare media mensile sulla superficie

Attenzione: unità di misura

$I_{sol,k}$ deve essere espresso in W, se uso la norma UNI 10349 l' irradianza è la media giornaliera per il mese di riferimento in MJ pertanto il valore della norma deve essere trasformato:

$$I_{sol,k} = I_{10349} \times 10^6 / 86400$$

Area captazione

superficie vetrata

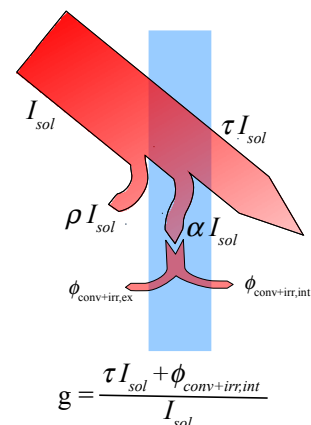
$$A_{sol} = F_{sh,gl} \times g_{gl} \times (1 - F_F) \times A_{w,p}$$

$F_{sh,gl}$ fattore di riduzione per presenza di schermature mobili

g_{gl} trasmittanza di energia solare della superficie vetrata

F_F frazione di area relativa al telaio

$A_{w,p}$ area vano finestra



Area captazione

superfici opache

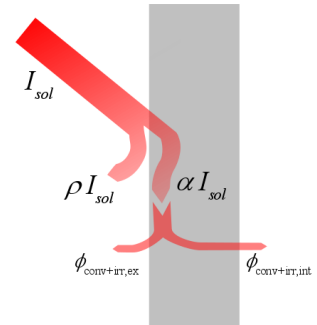
$$A_{sol} = \alpha_{sol,c} \times R_{se} \times U_c \times A_c$$

$\alpha_{sol,c}$ fattore assorbimento solare

R_{se} resistenza superficiale esterna

U_c trasmittanza termica del componente

A_c area proiettata del componente opaco



parametri dinamici

Bilancio Riscaldamento

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

$$\gamma_H > 0 \quad \gamma_H \neq 1$$

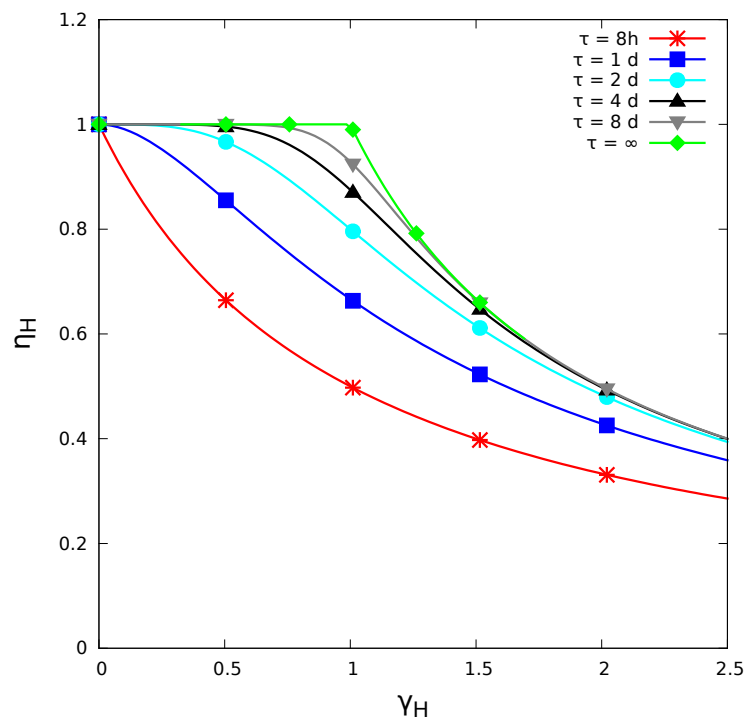
$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}$$

$$\gamma_H = 1$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1}$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{gn}}{Q_{H,ht}}; \quad a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}; \quad \tau = \frac{C_m}{H_{adj}}$$

- τ costante di tempo termica della zona in ore
- C capacità termica interna della zona
- H_{adj} coefficiente globale di scambio termico corretto
- per periodo di calcolo mensile si assume $a_{H,0} = 1, \tau_{H,0} = 15$ h



parametri dinamici

Bilancio raffrescamento

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

$$\gamma_C > 0 \quad \gamma_C \neq 1$$

$$\eta_{C,is} = \frac{1 - \gamma_C^{ac}}{1 - \gamma_C^{ac+1}}$$

$$\gamma_C = 1$$

$$\eta_{C,is} = \frac{ac}{ac + 1}$$

$$\gamma_C = \frac{Q_{gn}}{Q_{C,ht}}; \quad ac = ac,0 + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} - k \frac{A_w}{A_f}; \quad \tau = \frac{C_m}{H_{adj}}$$

τ costante di tempo termica della zona in ore

C capacità termica interna della zona

H_{adj} coefficiente globale di scambio termico corretto

A_w area finestrata

A_f area di pavimento climatizzata

per periodo di calcolo mensile si assume $ac,0 = 8,1, \tau_{C,0} = 17 \text{ h}, k = 13$

Capacità termica

metodo dello spessore effettivo

- è un metodo semplificato, si considera la diffusività termica
 $\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} = 0,7 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$
- il valore minimo dello spessore effettivo d_T è il valore minore tra i seguenti:
 - a) mezzo spessore del componente
 - b) lo spessore dei materiali fino al primo strato di isolante
 - c) una profondità massima d_T , funzione del periodo delle variazioni di temperatura
- la capacità termica si calcola come

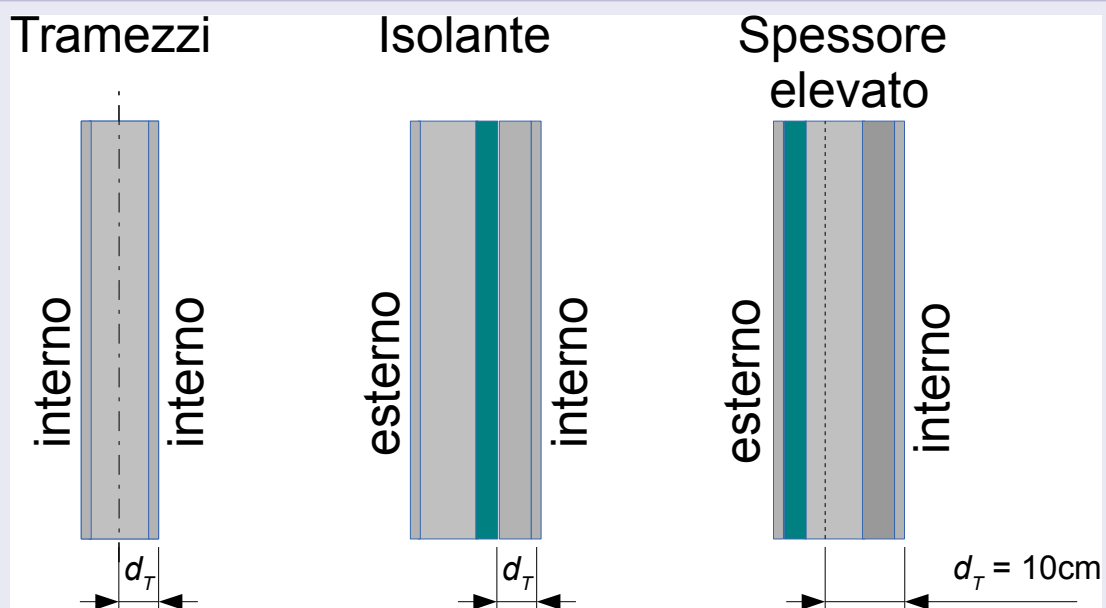
$$\kappa_m = \sum_i \rho_i d_i c_i \quad \text{con} \quad \sum_i d_i = d_T$$

Periodo delle variazioni	1 ora	1 giorno	1 settimana
d_T	20 mm	100 mm	250 mm



Capacità termica

spessore effettivo



Capacità termica

effetto della resistenza superficiale

- la capacità calcolata non tiene conto delle resistenze superficiali
- la capacità termica areica può anche essere corretta per tener conto di eventuali strati isolanti ma di massa trascurabile
- si può correggere la massa areica con la formula seguente

$$\kappa'_m = \sqrt{\frac{\kappa_m^2}{1 + \omega^2 \kappa_m^2 (R + R_s)^2}}$$

R_s resistenza termica superficiale

R resistenza termica dello strato di massa trascurabile

κ_m capacità termica areica del componente

UNI TS 11300-2

Scopo e campo di applicazione

- fabbisogno di energia utile per acqua calda sanitaria
- calcola i rendimenti ed i fabbisogni di energia elettrica degli ausiliari dei sistemi di riscaldamento e produzione di ACS
- calcola i fabbisogni di energia primaria per climatizzazione invernale e produzione di ACS
- si applica ad edifici nuovi od esistenti
- si applica per
 - il solo riscaldamento
 - misti o combinati per riscaldamento ed ACS
 - per sola ACS

Suddivisione impianti

riscaldamento, ACS, ventilazione

due parti principali

- parte “utilizzo”: dal punto di consegna alla rete di distribuzione al punto di emissione dell’energia termica utile negli ambienti climatizzati;
- parte “generazione”: dal punto di consegna dell’energia al confine dell’edificio al punto di consegna dell’energia termica utile alla rete di distribuzione dell’edificio.
- la generazione può alimentare più circuiti di zona
- la generazione comprende tutti i sistemi per trasformare energia
- “utilizzo” riceve l’energia e la usa per soddisfare i vari servizi

Sottosistemi di utilizzazione

Riscaldamento

- emissione
- regolazione
- distribuzione
- accumulo (esterno ai componenti)

ACS

- erogazione;
- distribuzione (suddivisa in distribuzione finale e rete di ricircolo ove presente);
- accumulo (esterno a componenti dell’impianto);
- distribuzione primaria (circuiti generatore/accumulo).

Ventilazione

- emissione;
- distribuzione (suddivisa in distribuzione finale e rete di ricircolo ove presente);
- distribuzione;
- generazione (nel caso indipendente).

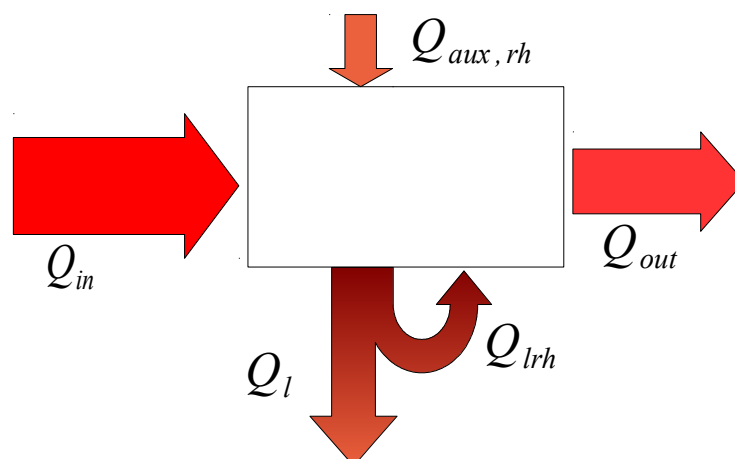
si considerano i seguenti fabbisogni di energia termica utile

- 1) fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento e ventilazione dell'edificio Q_h
- 2) fabbisogno di energia termica utile per acqua calda per usi igienico – sanitari Q_w

Bilancio sistema

bilancio del sottosistema

$$Q_{in} = Q_{out} + Q_l - (Q_{lrh} + Q_{aux,rh}) \text{ [kWh]}$$



tipologie di perdite

- non recuperabili: energia termica non recuperabile (ad es. tubazioni correnti all'esterno dell'edificio);
- recuperabili: energia termica che può essere recuperata (ad es. tubazioni correnti all'interno dello spazio riscaldato);
- recuperate: frazione delle perdite di energia termica recuperabile che effettivamente viene recuperata e che quindi può essere detratta dal fabbisogno di energia termica utile.

Metodi per il calcolo delle perdite

metodi di calcolo

- 1 determinazione sulla base di prospetti con dati precalcolati in funzione della tipologia del sistema
 - 2 calcolo mediante metodi descritti nella specifica
- se si utilizza il metodo 1, semplificato, non si considerano recuperi di energia (termica o elettrica)
 - i fabbisogni di energia elettrica devono essere calcolati a parte

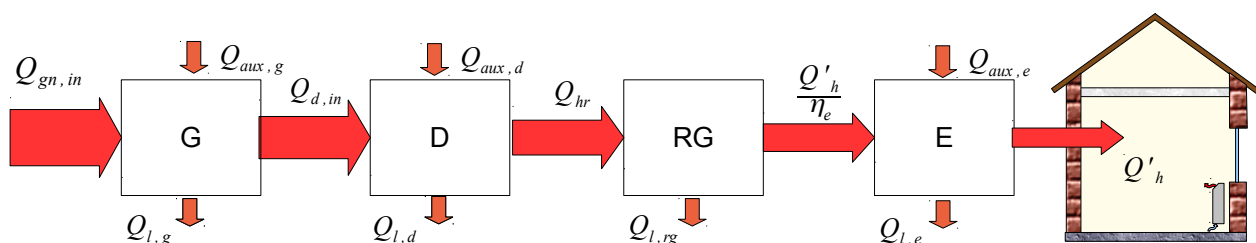
Fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento dell'edificio

Il fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento dell'edificio è articolato in:

- fabbisogno ideale, Q_h si ricava dall'UNI/TS 11300-1
- fabbisogno ideale netto ottenuto sottraendo al fabbisogno ideale le perdite recuperate
- fabbisogno effettivo è il fabbisogno che tiene conto delle perdite di emissione e di regolazione, ossia dell'energia termica che il sottosistema di distribuzione deve immettere negli ambienti

Sottosistemi di riscaldamento

Suddivisione in sottosistemi



Perdite di emissione

Impianto di riscaldamento

- vengono forniti due prospetti per locali di altezza rispettivamente minore e maggiore di 4 m
- per locali di altezza maggiore di 4 m sono influenzati dalla tipologia e da una corretta installazione
- nel caso non siano verificate le condizioni predette si deve operare in diverso modo (UNI EN 15316-2-1)
- una volta determinato il rendimento si può risalire alle perdite

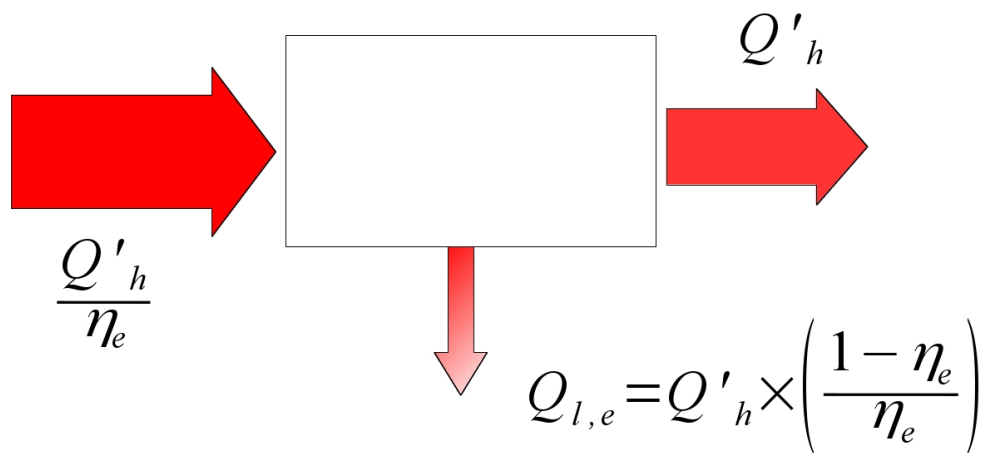
Perdite di emissione

$$Q_{l,e} = Q'_H \times \frac{1 - \eta_e}{\eta_e}$$

Rendimento di emissione

locali con altezza ≤ 4 m

Tipo di terminale di erogazione	Carico termico medio annuo W/m ³		
	< 4	4 – 10	> 10
	η_e		
Radiatori su parete esterna isolata	0,98	0,97	0,95
Radiatori su parete interna	0,96	0,95	0,92
Ventilconvettori valori riferiti a t_{media} acqua = 45°	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 isolato 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



Sottosistema di regolazione

- il prospetto 20 della UNI/TS 11300-2 riporta valori del rendimento di regolazione
- per valutazioni in condizioni effettive si possono usare valori migliori
- per valutazione di progetto e standard si devono comunque assumere i valori del prospetto 20
- anche in questo caso dal rendimento si ricavano le perdite

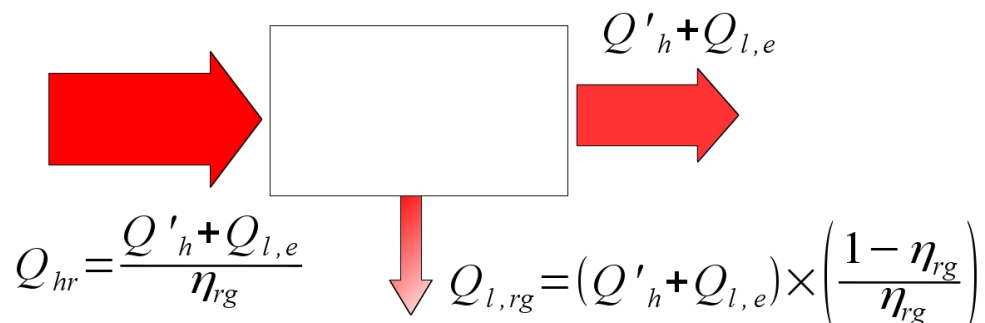
Perdite di emissione

$$Q_{l,rg} = (Q'_H + Q_{l,e}) \times \frac{1 - \eta_{rg}}{\eta_{rg}}$$

Rendimento di regolazione

Tipo di regolazione	Caratteristiche	Sistemi a bassa inerzia termica		
		Radiatori, convettori, ventilconvettori, strisce radianti, aria calda	pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	pannelli integrati nelle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente
Solo Climatica		$1 - (0,6\eta_u\gamma)$	$0,98 - (0,6\eta_u\gamma)$	$0,94 - (0,6\eta_u\gamma)$
Solo di zona	On off	0,93	0,91	0,87
	P banda prop. 2,0 K	0,94	0,92	0,88
	P banda prop. 1,0 K	0,97	0,95	0,91
	P banda prop. 0,5 K PI o PID	0,98 0,99	0,96 0,97	0,92 0,93
solo per ambiente	On off	0,94	0,92	0,88
	P banda prop. 2,0 K	0,95	0,93	0,89
	P banda prop. 1,0 K	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 0,5 K PI o PID	0,99 0,995	0,98 0,99	0,97 0,97
zona + climatica	On off	0,97	0,95	0,93
	P banda prop. 2,0 K	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 1,0 K	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 0,5 K PI o PID	0,99 0,995	0,98 0,99	0,96 0,97

schema perdite regolazione



Sottosistema di distribuzione

calcolo delle perdite

metodi di calcolo

- 1 mediante dati precalcolati (prospetto 21)
 - 2 mediante l'utilizzo dell'appendice A (richiede il calcolo della rete di distribuzione)
- i valori precalcolati si possono utilizzare quando sono rispettate le condizioni riportate
 - nel caso si segua il metodo 1 non si devono considerare i recuperi dovuti alle pompe

Sottosistema di distribuzione

Dati precalcolati

- I valori in essi contenuti si riferiscono solo alle tipologie di reti indicate e possono essere utilizzati solo per reti delle tipologie indicate,
- i prospetti si riferiscono a tipologie residenziali (prevalentemente)

Perdite

$$Q_{l,d} = Q_{hr} \times \frac{1 - \eta_d}{\eta_d}$$

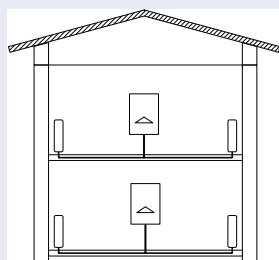
Q_{hr} fabbisogno di energia termica all'uscita dal segmento di distribuzione

Grado di isolamento

- A Isolamento con spessori conformi alle prescrizioni del DPR 412/93;
- B Isolamento discreto, di spessore non necessariamente conforme alle prescrizioni del DPR 412/93, ma eseguito con cura e protetto da uno strato di gesso, plastica o alluminio;
- C Isolamento medio, con materiali vari (mussola di cotone, coppelle) non fissati stabilmente da uno strato protettivo;
- D Isolamento insufficiente, gravemente deteriorato o inesistente;
- E Isolamento scadente o inesistente in impianti realizzati antecedentemente all'entrata in vigore del DPR 412/93 (per esempio tubo preisolato con spessore ridotto o tubo nudo inserito in tubo corrugato).

Rendimento di distribuzione

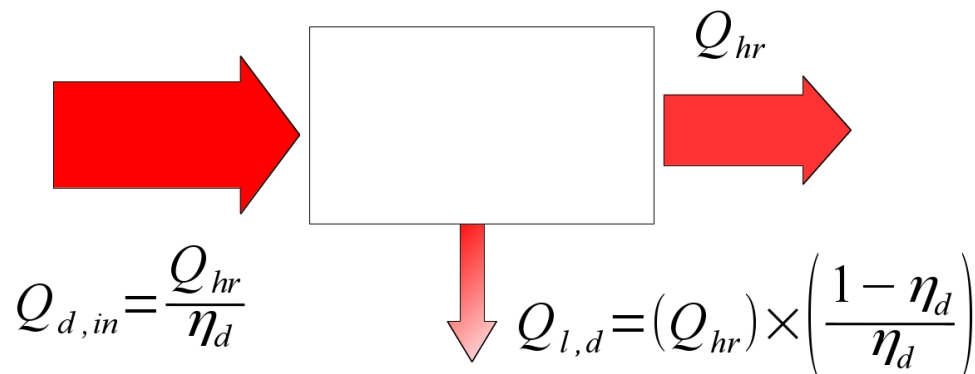
impianti autonomi con generatore unifamiliare in edificio condominiale



I valori sono applicabili solo qualora le tubazioni corrano interamente all'interno della zona riscaldata, come nel caso di generatore interno all'appartamento

isolamento della rete di distribuzione orizzontale

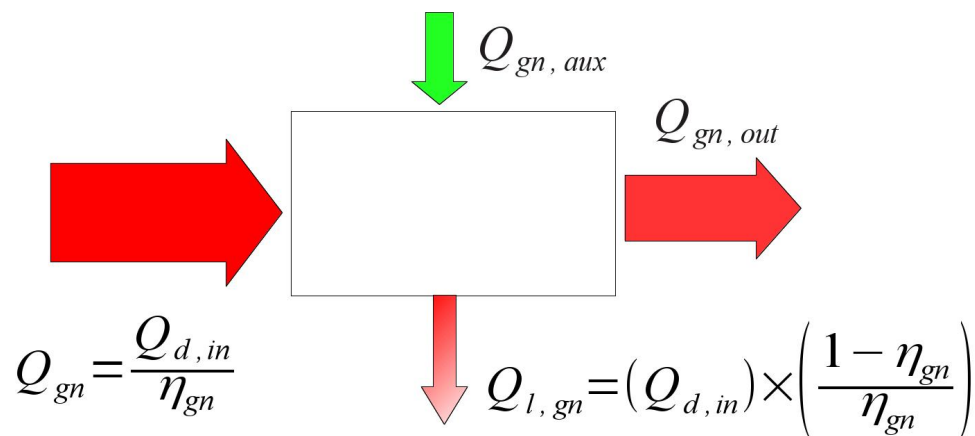
	A	E
impianto autonomo a piano intermedio	0,99	0,99
Impianto autonomo a piano terreno su ambienti non riscaldati e terreno con distribuzione monotubo	0,96	0,95
Impianto autonomo a piano terreno su ambienti non riscaldati e terreno con distribuzione a collettori	0,94	0,93



Perdite del sottosistema 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
 - Metodo di calcolo basato sui rendimenti dichiarati ai sensi della direttiva 92/42/CE, con opportune correzioni in ragione alle condizioni di funzionamento;
 - Metodo di calcolo analitico
- per valutazioni di progetto (A1) e standard (A2) si possono usare i valori tabellati solo se le condizioni al contorno e la tipologia del generatore corrispondono a quelli dei prospetti
 - per valutazioni in condizioni effettive (A3) devo usare il il calcolo
 - se si usano i prospetti posso calcolare le perdite come

$$Q_{l,gn} = (Q_{hr} + Q_{l,d}) \times \frac{1 - \eta_{gn}}{\eta_{gn}}$$



Rendimenti di generazione precalcolati

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 della chiusura aria comburente all'arresto (non applicabile ai premiscelati)
- F7 temperatura di ritorno in caldaia nel mese più freddo

Generatori di calore atmosferici B classificati ** (due stelle)

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

Per generatori antecedenti al 1996 valore base 84

Per generatori classificati * (1 stella) valore base 88

Valore base riferito a: caldaia a due stelle, sovradimensionamento 1 minimo di modulazione, installazione interno, camino alto meno di 10 m, temperatura di mandata in condizioni di progetto $< 65^{\circ}\text{C}$

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

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

Valore base riferito a: caldaia a tre stelle, sovradimensionamento 1 minimo di modulazione, installazione interno, camino alto meno di 10 m, temperatura di mandata in condizioni di progetto $< 65^{\circ}\text{C}$

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

ΔT fumi - acqua di 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
da > 24°C	99	0	0	0	-1	-2	0	-1	-2	-3

Generatori di aria calda a gas o gasolio

prospetto 29

Tipo di generatore	Valore di base	F2
Generatori di aria calda a gas o gasolio con bruciatore ad aria soffiata o premiscelato, funzionamento on-off. Generatori di aria calda a gas a camera stagna con ventilatore nel circuito di combustione di tipo B o C, funzionamento on-off.	90	-3
Generatori aria calda a gas o gasolio, bruciatore ad aria soffiata o premiscelato, funzionamento bi-stadio o modulante. Generatori aria calda a camera stagna con ventilatore nel circuito di combustione installato in versione di tipo B o C, bi-stadio o modulazione aria gas.	93	-2
Generatori aria calda a gas a condensazione regolazione modulante aria gas.	100	-1

Energia assorbita dagli ausiliari

$$Q_{gn,aux} = \frac{W_{aux,Pn} \cdot t_{gn}}{1000} \quad [\text{kWh}]$$

$W_{aux,Pn}$ potenza ausiliari alla potenza nominale
in assenza dei dati si può usare il Prospetto B.4

Prospetto B.4

$$W_{aux,Pi} = G + H \times \Phi_{Pn}^n \quad [W]$$

Tipologia	potenza	G	H	n
Generatore a condensazione	Φ_{Pn}	0	45	0,48
	Φ_{Pint}	0	15	0,48
	Φ_{Po}	15	0	0
Generatore ad aria soffiata	Φ_{Pn}	0	45	0,48
	Φ_{Pint}	0	15	0,48
	Φ_{Po}	15	0	0

Perdite al generatore, Direttiva 92/42/CEE

Sono richiesti i seguenti dati

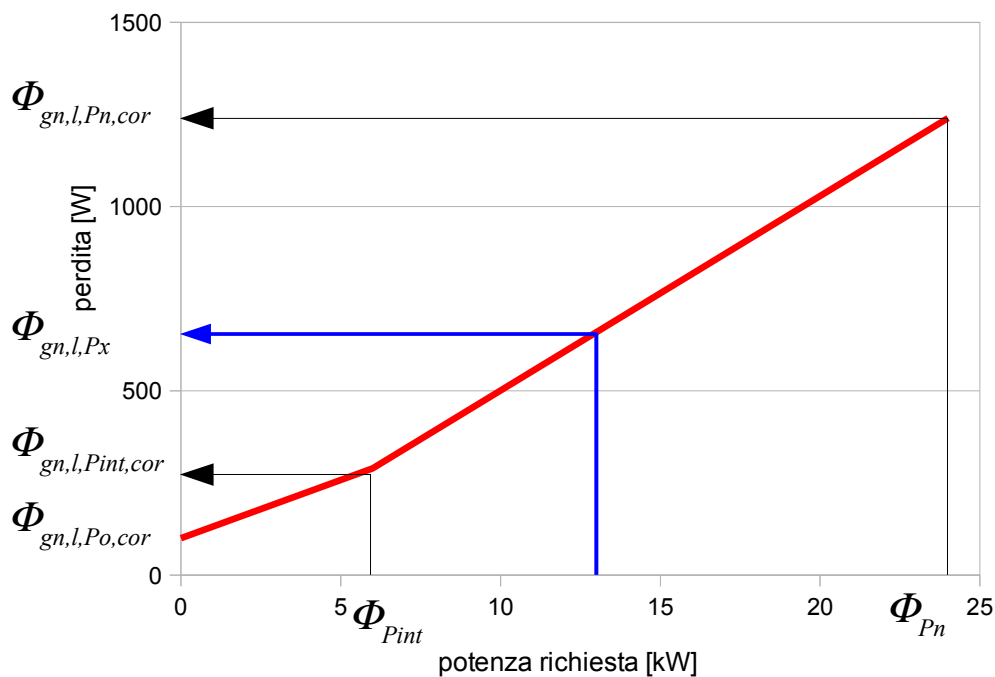
- rendimento al 100 % del carico $\eta_{gn,Pn}$
- rendimento a carico intermedio $\eta_{gn,Pint}$
- perdite a carico nullo $\Phi_{gn,l,Po}$

se alcuni dati sono mancanti possono essere recuperati dalla specifica

Perdite al generatore, Direttiva 92/42/CEE

Il metodo consiste nel valutare le perdite al carico effettivo di funzionamento

perdite generatore



rendimenti e perdite corretti

ai rendimenti ed alle perdite si apportano delle correzioni

$$\eta_{gn,Pn,cor} = \eta_{gn,Pn} + f_{cor,Pn} \cdot (\theta_{gn,test} - \theta_{gn,w})$$

$$\Phi_{gn,l,Pn,cor} = \frac{(100 - \eta_{gn,Pn,cor})}{\eta_{gn,Pn,cor}} \cdot \Phi_{Pn} \cdot 1000 \text{ [W]}$$

Tipo di generatore	$\theta_{gn,test}$	$f_{cor,Pn}$
standard	70	0,04
a bassa temperatura	70	0,04
a condensazione a gas	70	0,20
a condensazione a gasolio	70	0,10

ai rendimenti ed alle perdite si apportano delle correzioni

$$\eta_{gn,Pint,cor} = \eta_{gn,Pint} + f_{cor,Pint} \cdot (\theta_{gn,test} - \theta_{gn,w})$$

$$\Phi_{gn,l,Pint,cor} = \frac{(100 - \eta_{gn,Pint,cor})}{\eta_{gn,Pint,cor}} \cdot \Phi_{Pint} \cdot 1000 \text{ [W]}$$

Tipo di generatore	$\theta_{gn,test}$	$f_{cor,Pn}$
standard	50	0,05
a bassa temperatura	40	0,05
a condensazione a gas	30	0,20
a condensazione a gasolio	70	0,10

rendimenti e perdite corretti a carico nullo

se non specificate si possono calcolare come:

$$\Phi_{gn,l,Po,cor} = \Phi_{gn,l,Po} \times \left(\frac{\theta_{gn,avg} - \theta_{a,gn}}{\theta_{test,avg} - \theta_{a,test}} \right)^{1,25}$$

La temperatura $\theta_{a,gn}$ del locale dove è installato il generatore si ricava utilizzando un fattore di riduzione b_{gn}

Ubicazione generatore	b_{gn}	$\theta_{a,gn}$
All'aperto	1	temperatura esterna
centrale termica	0,3	15
spazio riscaldato	0	20

Calcolo della temperatura media e di ritorno

regolazione continua della portata, valvole termostatiche

temperatura media $\theta_{em,av}$

$$\theta_{em,av} = \theta_{int} + \left(\frac{\Phi_{em}}{\Phi_{em,ref}} \right)^{\frac{1}{n}} \times \Delta\theta_{ref}$$

Φ_{em} potenza media terminali

$\Phi_{em,ref}$ potenza terminali di riferimento

$\Delta\theta_{ref}$ salto termico in condizioni di riferimento

n esponente caratteristico dei terminali $n = 1, 3$ per radiatori

temperatura di ritorno $\theta_{em,ret}$

$$\theta_{em,ret} = \max(2 \times \theta_{em,av} - \theta_{em,flw}; \theta_{int})$$

$\theta_{em,flw}$ temperatura di mandata

Energia primaria

- conoscendo i termini di perdita posso calcolare l'energia primaria
- considero sia l'energia da fonte fossile consumata che la parte consumata per produrre energia elettrica
- devo utilizzare i fattori di conversione tra diversi vettori energetici

$$Q = f_p \times Q_{gn,IN} + f_{p,el} \times (Q_{gn,aux} + Q_{gn,Po})$$

$Q_{n,P}$ energia elettrica assorbita dalla pompa di circolazione

$f_{p,el}$ fattore di conversione energia elettrica energia primaria

f_p fattore di conversione energia elettrica energia primaria del vettore energetico

Fattori di conversione in energia primaria

Vettore energetico	$f_{P,nren}$	$f_{P,ren}$	$f_{P,tot}$
Gas naturale	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide	0,20	0,80	1,00
Biomasse liquide e gassose	0,40	0,60	1,00
Energia elettrica da rete	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento	1,5	0	1,5
Rifiuti solidi urbani	0,2	0,2	0,4
Teleraffrescamento	0,5	0	0,5
Energia termica da collettori solari	0	1,00	1,00
Energia elettrica: fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – free cooling esterno – pompa di calore	0	1,00	1,00

Fabbisogni per acqua calda sanitaria

energia $Q_{h,W}$

$$Q_{h,W} = \sum_i \rho \times c \times V_W \times (\theta_{er} - \theta_0) \times G$$

ρ densità dell'acqua

c calore specifico dell'acqua

V_W volume dell'acqua richiesta durante il periodo

θ_{er} temperatura di erogazione (40 °C)

θ_0 temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria (media annuale delle temperature medie mensili)

G numero di giorni del periodo di calcolo

Parametri

$$\theta_{er} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

θ_0 media annuale delle temperature medie mensili da UNI 10349

Prevenzione e controllo Legionella

- ① il calcolo non ne tiene conto
- ② sono previsti trattamenti contro la legionella
 - ① disinfezione continua con $\theta > 50^\circ\text{C}$
 - ② disinfezione periodica con temperature $60^\circ\text{C} < \theta < 70^\circ\text{C}$
- ③ nella relazione va indicato il trattamento utilizzato

Fabbisogni ACS

Volumi d'acqua

Edificio residenziale

$$V_W = a \times S_u + b \quad [\text{l/giorno}]$$

a, b parametri ricavabili da prospetto

S_u superficie utile dell'abitazione

prospetto 30

S_u	$S_u \leq 35$	$35 \leq S_u < 50$	$50 < S_u \leq 200$	$200 < S_u$
a	0	2,667	1,067	0
b	50	-43.44	36,67	250

Volume d'acqua

Altri edifici

edificio non residenziale

$$V_W = a \times N_u \quad [l/G]$$

a fabbisogno giornaliero specifico

N_u parametro dipendente dalla destinazione d'uso

valore di a e N_u

Attività	a	N_u	categoria DPR 412/93
Dormitori, Residence e BB	40	numero letti	E.1(3)
Hotel fino 3 stelle	60	numero letti	E.1(3)
Scuole materne e asili nido	8	numero di bambini	E.7
palestre	50	per doccia installata	E.6 (2)

Metodi di calcolo

Acqua calda sanitaria

Valutazioni di calcolo

A1 A2 A3

Fabbisogni ACS
prospetti 12 e 13

Erogazione
 $\eta_{er} = 1$

Distribuzione
metodi analitici (appendice A) salvo installazione in ambiente riscaldato

Accumulo
trascurato per valutazione di intero edificio privo di impianto centralizzato per ACS, calcolato con formule in altri casi

Generazione
metodo di calcolo

Rendimento medio globale stagionale
per edifici privi di impianto centralizzato è pari a 0,7

valutazione A1 e A2

Temperatura di riferimento all'erogazione	40 ° C
Rete di distribuzione alle utenze	48 ° C
Rete di ricircolo	48 ° C
Rete distribuzione finale	48 ° C
Serbatoio di accumulo	60 ° C
Circuito primario serbatoio/generatore (temp. media)	70 ° C

Acqua calda sanitaria

Impianti di acqua calda sanitaria

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

Perdite di erogazione e distribuzione

Perdite di erogazione

$$Q_{I,W,er} = Q_W \times \frac{1 - \eta_{W,er}}{\eta_{W,er}}$$

$\eta_{W,er} = 1$ rendimento di erogazione per valutazioni A1 e A2

perdite di distribuzione

si tiene conto delle perdite nei circuiti

- distribuzione alle utenze,
- anello di ricircolo
- circuito di collegamento generatore accumulo

Perdite di erogazione e distribuzione

impianti esistenti senza ricircolo

$$Q_{I,W,du} = (Q_W + Q_{I,W,er}) \times f_{I,W,d}$$

$$Q_{rhI,W,du} = f_{rh,W,d} \times Q_{I,W,d}$$

$Q_{Irh,W,d}$ perdite recuperate

$f_{rh,W,d}$ fattore di recupero

$f_{I,W,d}$ fattore di perdita

fattori di perdita e recupero

Tipologia di sistema	$f_{I,W,d}$	$f_{rh,W,d}$
Sistemi installati prima della 373/76	0,12	0,5
Sistemi installati dopo la 373/76 rete distribuzione parzialmente in ambiente climatizzato	0,08	0,5
Sistemi installati dopo la 373/76 rete distribuzione in ambiente climatizzato	0,08	0,9

Perdite di accumulo e nel circuito primario

- si considerano solo nel caso di accumulo esterno
- si considerano
 - 1 perdite del serbatoio
 - 2 perdite del circuito generatore-serbatoio

Perdite del serbatoio

$$Q_{i,W,s} = \frac{S_s}{d_s} \times (\theta_s - \theta_a) \times t_s \times \lambda_s$$

S_s Superficie accumulo

d_s spessore strato di isolante

θ_s temperatura media accumulo

θ_a temperatura ambiente

t_s durata del periodo

λ_s conduttività isolante



Acqua calda sanitaria

recuperi accumulo e perdite circuito

recuperi

$$Q_{lrh,W,s} = Q_{l,W,s} \times (1 - b_{g,W})$$

$b_{g,W} = 0$ se in ambiente riscaldato

$b_{g,W} = 1$ se fuori da ambiente riscaldato

perdite circuito

- trascurabili se la distanza dal generatore è < 5 m e le tubazioni sono isolate
- in tutti gli altri casi si deve effettuare il calcolo secondo appendice A



tipologia di produzione

- ① scalda-acqua autonomi di tipo istantaneo o accumulo
- ② Impianto centralizzato di produzione di acqua calda sanitaria, generatore dedicato
- ③ impianto autonomo con generatore combinato per riscaldamento e produzione istantanea ACS
- ④ impianto autonomo con generatore combinato per riscaldamento e ACS con accumulo

ACS, Sottosistema di generazione

- caso (1) si utilizzano i rendimenti certificati di prodotto o prospetto 35
- caso (2) si utilizzano i metodi per generatore a fiamma o UNI/TS 11300-4
- caso (3) si considera la priorità ACS e si considerano separatamente
 - (i) ore mensili per sola produzione ACS
 - (ii) residuo ore mensili per riscaldamento
- caso (4) si considerano due casi
 - (i) come in (3) se priorità ACS
 - (ii) si sommano i fabbisogni all'uscita della caldaia

rendimento convenzionale scaldacqua

Tipo di apparecchio	Versione	Rendimento istantaneo (%)	Rendimento stagionale (%)
Generatore a gas istantaneo per sola produzione ACS	Tipo B con pilota permanente	75	45
	Tipo B senza pilota	85	77
	Tipo C senza pilota	88	80
Generatore a gas ad accumulo per sola produzione ACS	Tipo B con pilota permanente	75	40
	Tipo B senza pilota	85	72
	Tipo C senza pilota	88	75
Bollitore elettrico ad accumulo	-	95	75
Bollitori ad accumulo a fuoco diretto	A camera aperta	84	70
	A condensazione	98	90

Fabbisogno di energia primaria

energia primaria

$$Q_{p,W} = f_p \times Q_{c,W} + Q_{aux,W} \times f_{p,el}$$