

# 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  $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

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

$\theta_i$  temperatura interna

$\theta_{ej}$  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

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

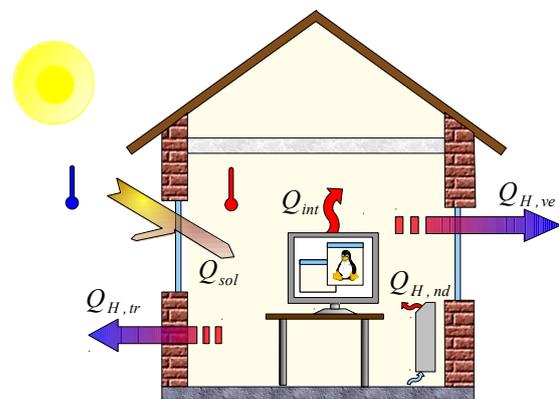
$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,is} \times Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,is} \times (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

## Bilancio termico

caso invernale

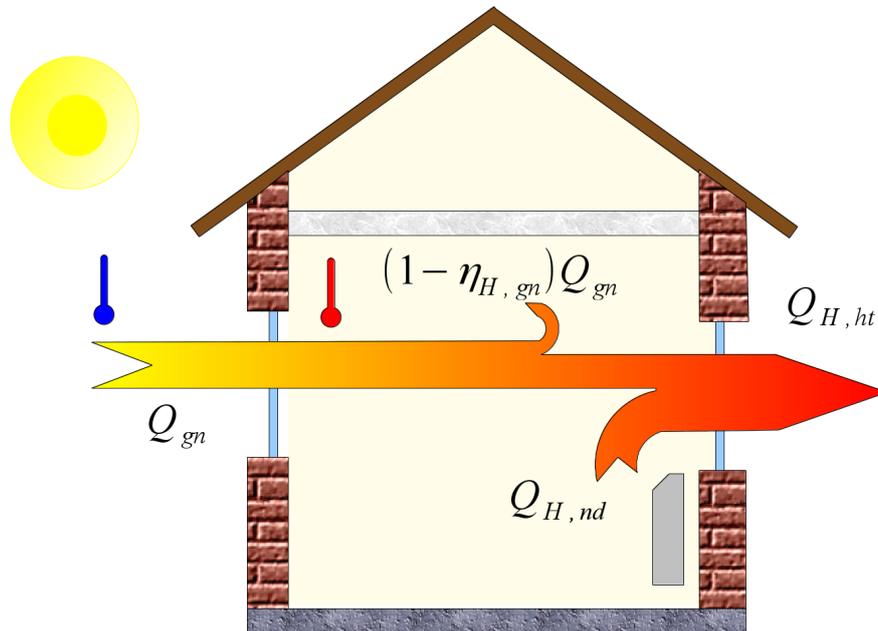
$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \times (Q_{int} + Q_{sol})$$

- $Q_{H,nd}$  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

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

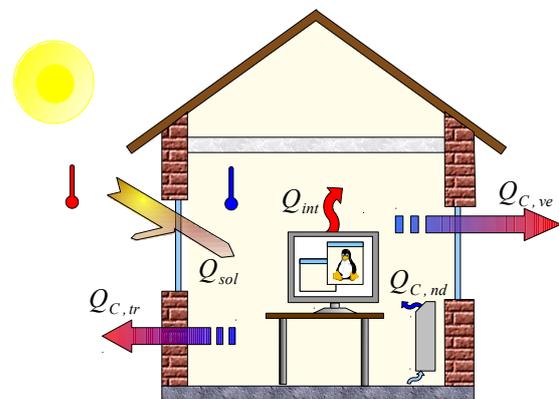


# Bilancio termico

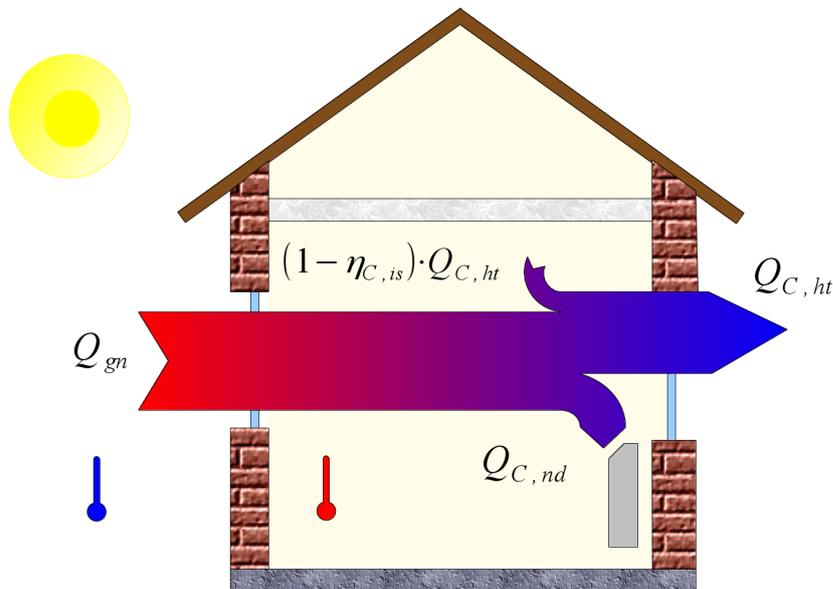
caso estivo

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

- $Q_{C,nd}$  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





# Ambienti non riscaldati

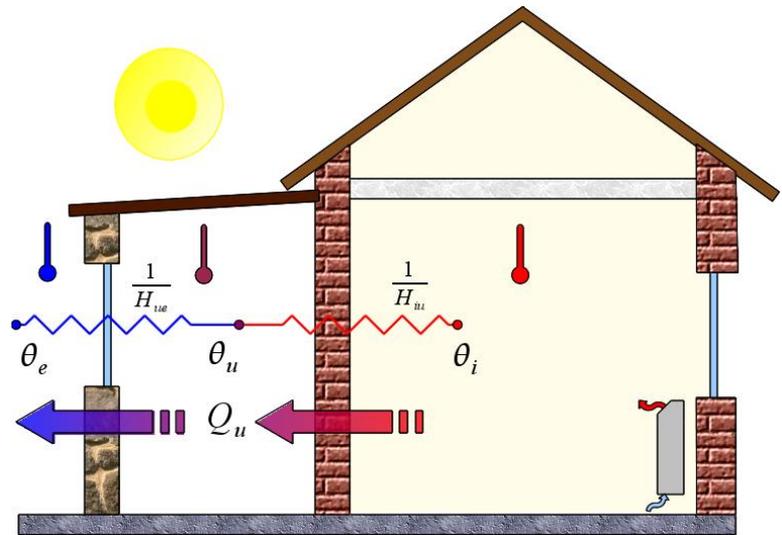
edifici nuovi

## analogia elettrica

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

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

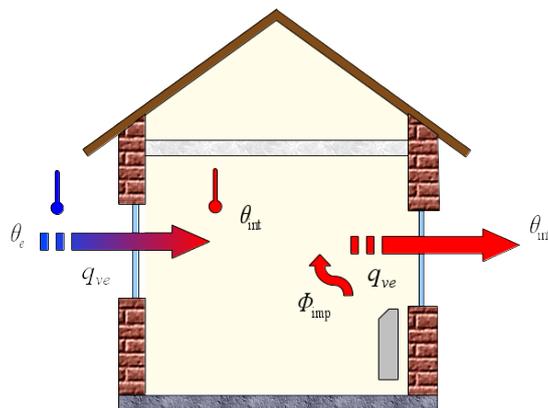
$$b_{tr,x} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$



# 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 <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	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

$\theta$  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  $\text{h}^{-1}$

$V$  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 <sup>2</sup> ]
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

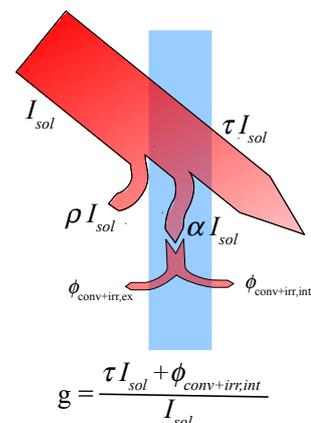
$$A_{sol} = F_{sh,gl} \times g_{gl} \times (1 - F_F) \times A_{w,p}$$

$F_{sh,gl}$  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

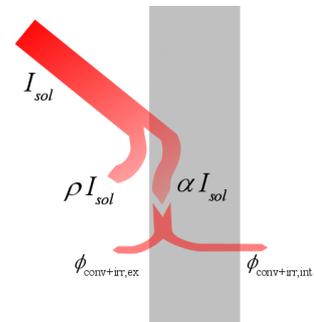
$$A_{sol} = \alpha_{sol,c} \times R_{se} \times U_c \times A_c$$

$\alpha_{sol,c}$  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

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

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

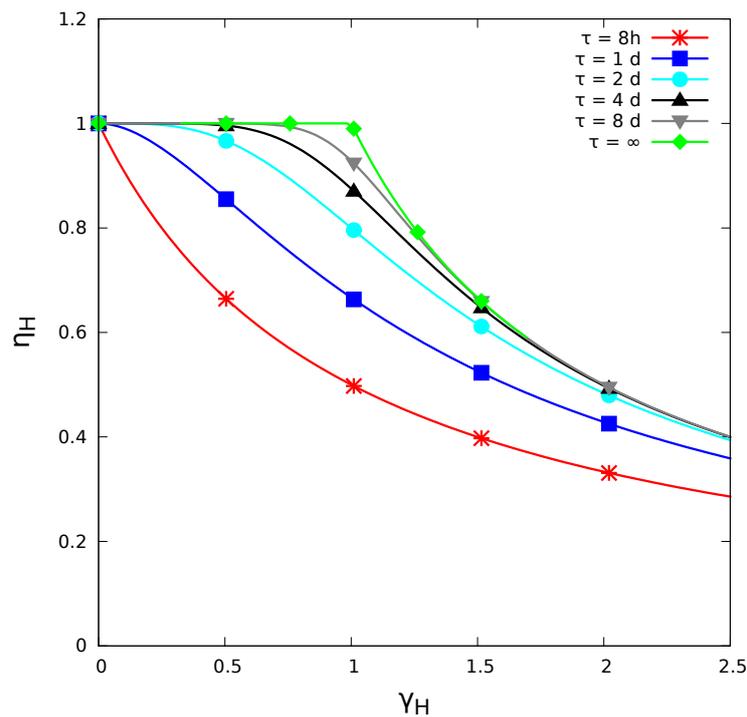
$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}$$

$$\gamma_H = 1$$

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

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

- $\tau$  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

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

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

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

$$\gamma_C = 1$$

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

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

$\tau$  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

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

$\kappa_m$  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 (circuito generatore/accumulo).

## Ventilazione

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

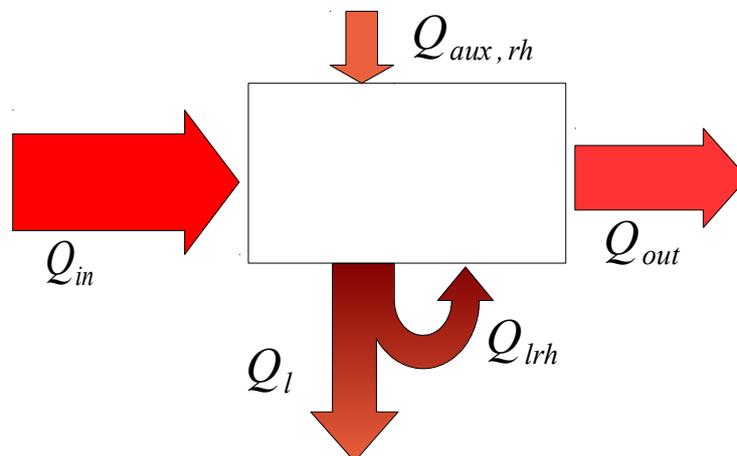
si considerano i seguenti fabbisogni di energia termica utile

- 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

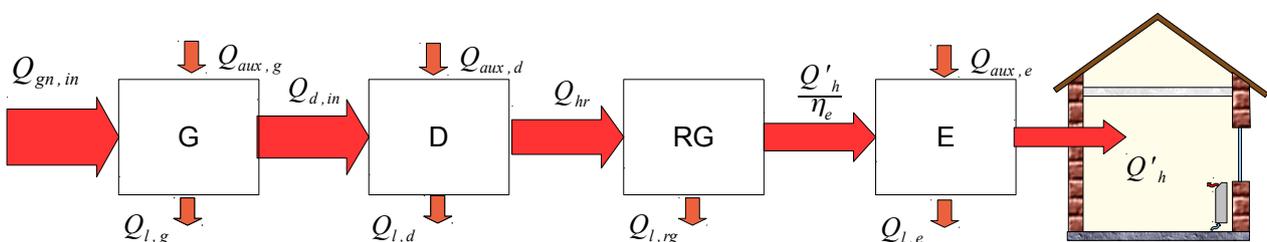
# Fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento dell'edificio

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

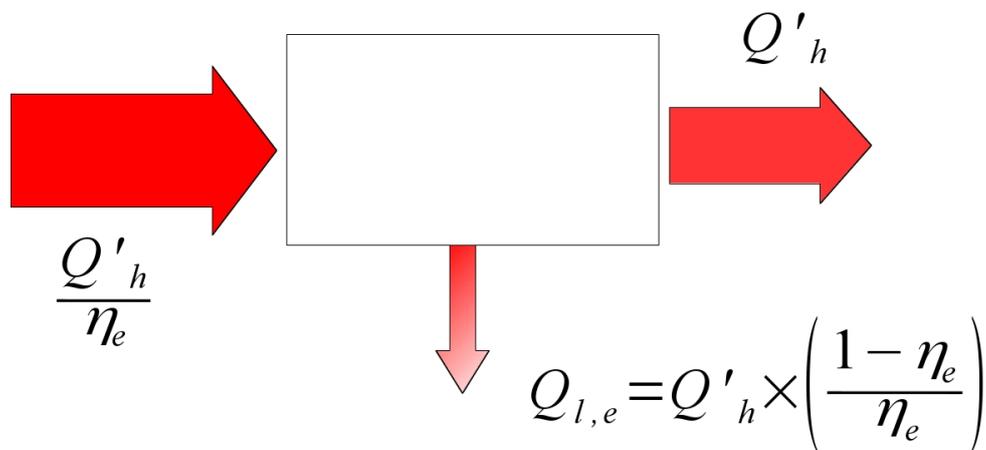
- fabbisogno ideale,  $Q_h$  si ricava dall UNI/TS 11300-1
- fabbisogno ideale netto ottenuto sottraendo al fabbisogno ideale le perdite recuperate
- fabbisogno effettivo è il fabbisogno che tiene conto delle perdite di emissione e di regolazione, ossia dell'energia termica che il sottosistema di distribuzione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

## Sottosistemi di riscaldamento

### Suddivisione in sottosistemi







## 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

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



# 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

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

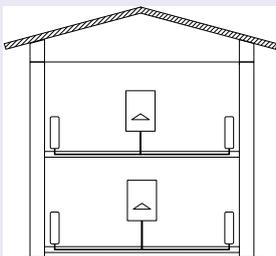
$Q_{hr}$  fabbisogno di energia termica all'uscita dal segmento di distribuzione

## 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

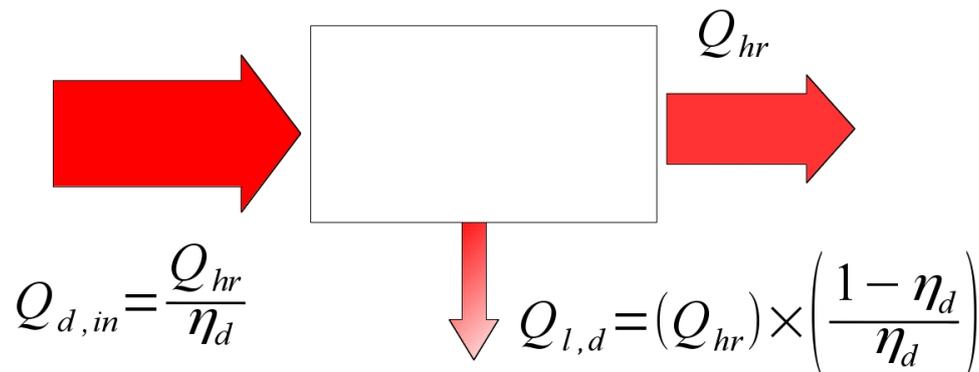
## impianti autonomi con generatore unifamiliare in edificio condominiale



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

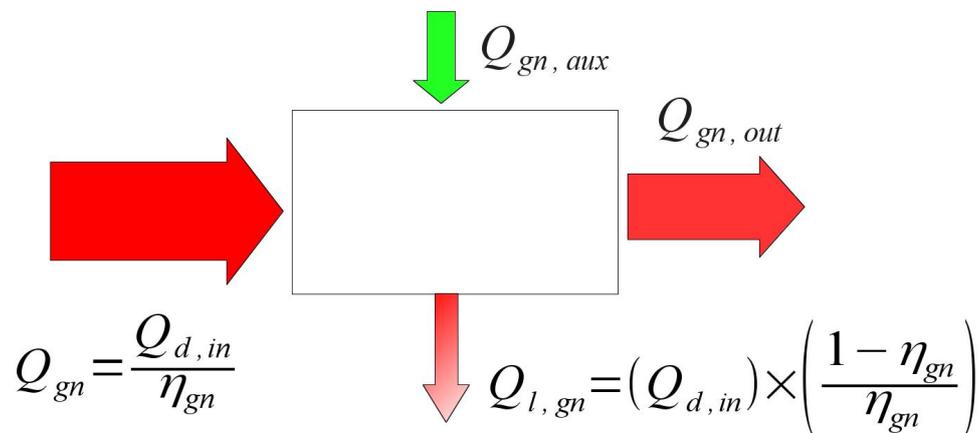
	A	E
impianto autonomo a piano intermedio	0,99	0,99
Impianto autonomo a piano terreno su ambienti non riscaldati e terreno con distribuzione monotubo	0,96	0,95
Impianto autonomo a piano terreno su ambienti non riscaldati e terreno con distribuzione a collettori	0,94	0,93



## 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  $< 65^{\circ}\text{C}$



# 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	$\Phi_{Pn}$	0	45	0,48
	$\Phi_{Pint}$	0	15	0,48
	$\Phi_{Po}$	15	0	0
Generatore ad aria soffiata	$\Phi_{Pn}$	0	45	0,48
	$\Phi_{Pint}$	0	15	0,48
	$\Phi_{Po}$	15	0	0

# Perdite al generatore, Direttiva 92/42/CEE

Sono richiesti i seguenti dati

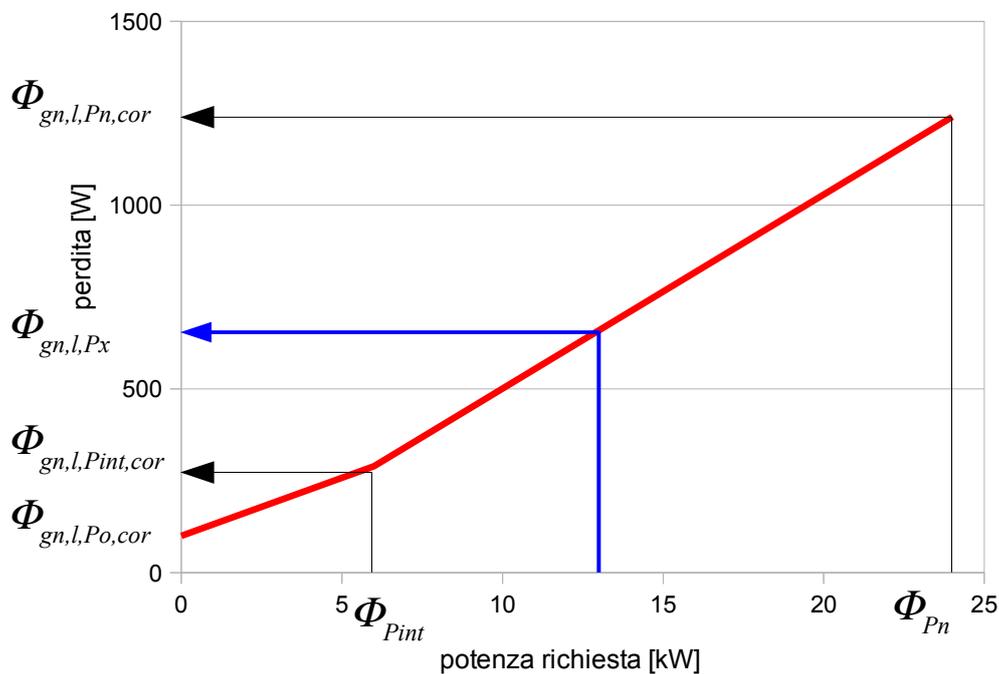
- rendimento al 100 % del carico  $\eta_{gn,Pn}$
- rendimento a carico intermedio  $\eta_{gn,Pint}$
- perdite a carico nullo  $\Phi_{gn,l,Po}$

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 $\theta_{em,av}$

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

$\Phi_{em}$  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  $Q_{h,W}$

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

$\rho$  densità dell'acqua

$c$  calore specifico dell'acqua

$V_W$  volume dell'acqua richiesta durante il periodo

$\theta_{er}$  temperatura di erogazione (40 °C)

$\theta_0$  temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria (media annuale delle temperature medie mensili)

$G$  numero di giorni del periodo di calcolo

## Parametri

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

$\theta_0$  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

$\theta_s$  temperatura media accumulo

$\theta_a$  temperatura ambiente

$t_s$  durata del periodo

$\lambda_s$  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

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