

Ordine
degli
INGEGNERI



Ordini degli Ingegneri della Provincia di Udine – Commissione Mista
Università degli Studi di Udine
Consorzio Friuli Formazione

CORSI DI DEONTOLOGIA E PRATICA PROFESSIONALE

Incontri di orientamento alla preparazione dell'esame
di stato per l'abilitazione alla professione di ingegnere

SETTORE INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

CALCOLO DELL'ENERGIA PRIMARIA

ing. Stefano Barbina

Udine, 23 maggio 2014

Metodologie di calcolo

Per le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici si adottano le seguenti norme tecniche nazionali e loro successive modificazioni:

UNI/TS 11300 – 1 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale

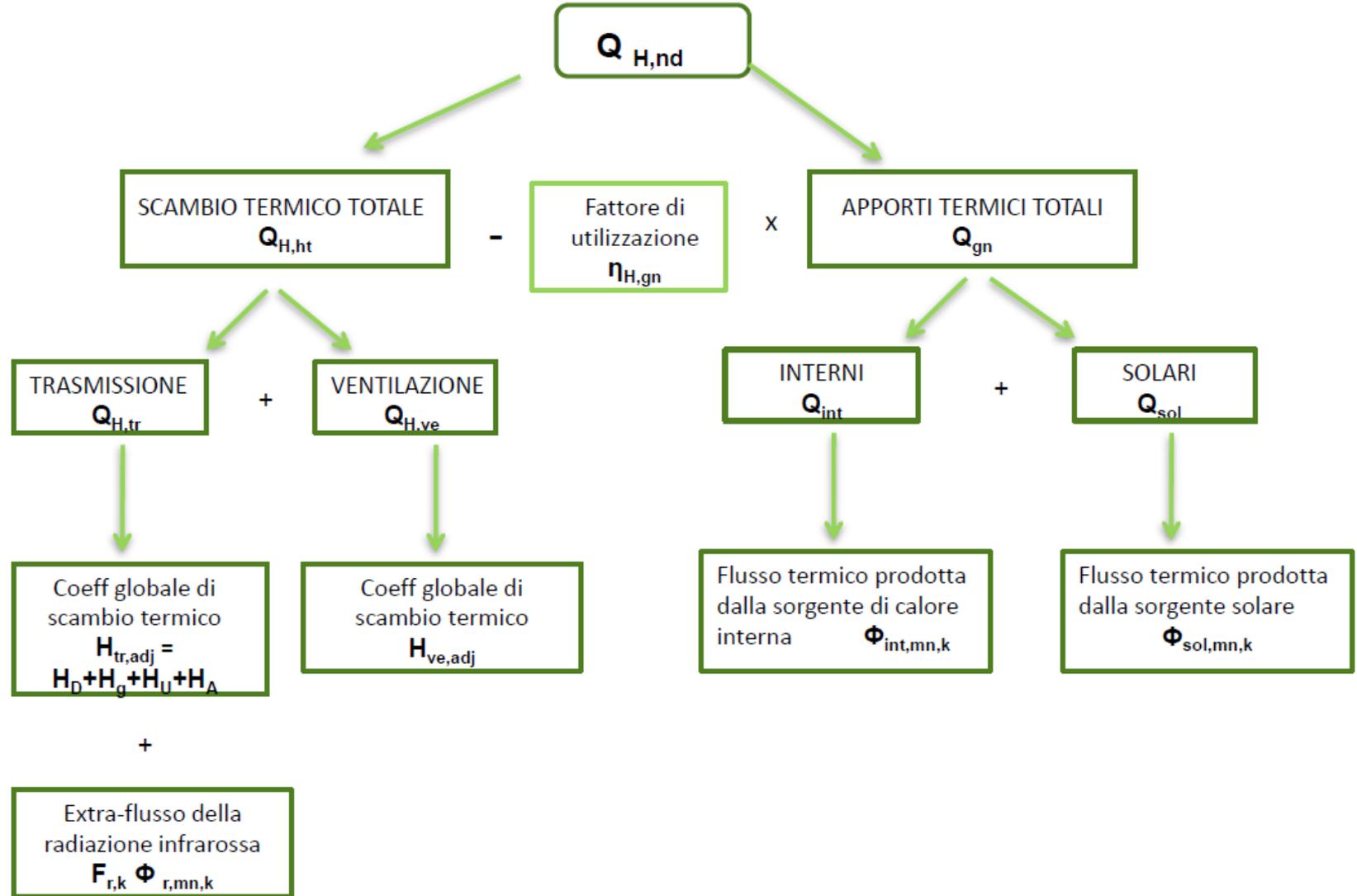
UNI/TS 11300 – 2 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

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



Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento



PROCEDIMENTO

Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento

Si definisce come fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ l'energia richiesta per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura di progetto (20°C) calcolata per ogni zona dell'edificio per ogni mese:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn} \quad [\text{kWh}]$$

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \times (Q_{int} + Q_{sol}) \quad [\text{kWh}]$$

$Q_{H,nd}$ è il fabbisogno di energia termica dell'edificio per riscaldamento [kWh]

$Q_{H,ht}$ è lo scambio termico totale nel caso di riscaldamento [kWh]

$Q_{H,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento [kWh]

$Q_{H,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel caso di riscaldamento [kWh]

Q_{gn} sono gli apporti termici totali [kWh]

Q_{int} sono gli apporti termici interni [kWh]

Q_{sol} sono gli apporti termici solari [kWh]

$\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti termici

PROCEDIMENTO

Calcolo degli scambi termici per trasmissione

Si calcola per ogni mese del periodo di riscaldamento lo scambio termico per trasmissione:

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} \times (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \times t + (\sum_k F_{r,k} \Phi_{r,mn,k}) \times t \quad [\text{kWh}]$$

$H_{tr,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno [W/K]

$\vartheta_{int,set,H}$ è la temperatura interna di regolazione per il riscaldamento della zona considerata pari a 20°

ϑ_e è la temperatura media mensile dell'ambiente esterno come da norma UNI 10349 [°C]

t è la durata del mese considerato in ore [h]

$F_{r,k}$ è il fattore di forma tra il componente edilizio k -esimo e la volta celeste

$\Phi_{r,mn,k}$ è l'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k -esimo mediato sul tempo

PROCEDIMENTO

Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione

verso l'area esterna, verso il terreno, verso altre zone climatizzate e non, si ricava come:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A \quad [W/K]$$

H_D è il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno;

H_g è il coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno;

H_U è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati;

H_A è il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone climatizzate a temperatura diversa

PROCEDIMENTO

Coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno

Il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno è calcolato sulla base di quanto riportato nella norma UNI EN ISO 13789. Esso è data dalla somma delle dispersioni:

- attraverso le strutture opache
- attraverso le strutture vetrate
- dovute ai ponti termici lineari

$$H_D = H_{D,o} + H_{D,f} \qquad H_{D,o} = \sum U_{c,k} A_{c,k} + \sum \Psi_k l_k + \sum X_j \qquad [W/K]$$

$H_{D,o}$ è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso superfici opache

$U_{c,k}$ è la trasmittanza termica del k -esimo componente dell'involucro edilizio [W/m^2K]

$A_{c,k}$ è l'area del componente opaco [m^2]

Ψ_k è la trasmittanza termica lineica del k -esimo ponte termico lineare presa da prospetti o cataloghi redatti in conformità alla ISO 14683 o calcolata secondo ISO 10211 [W/mK]

l_k è la lunghezza lungo la quale si applica il ponte termico lineare [m]

X_j è la trasmittanza termica puntuale del ponte termico puntuale j , calcolata secondo la ISO 10211 in W/K (trascurabile)

PROCEDIMENTO

Coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno

La UNI EN ISO 14683 fornisce i valori di progetto di Ψ basati su tre sistemi di valutazione delle dimensioni dell'edificio:

Ψ_i dimensioni interne, misurate tra le superfici interne finite di ogni ambiente in un edificio (escluso lo spessore delle partizioni interne)

Ψ_{oi} dimensioni interne totali, misurate tra le superfici interne finite di ogni ambiente in un edificio (incluso lo spessore delle partizioni interne)

Ψ_e dimensioni esterne, misurate tra le superfici esterne finite degli elementi esterni dell'edificio

Per gli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, per alcune tipologie edilizie, lo scambio termico attraverso i ponti termici può essere determinato forfaitariamente secondo quanto indicato nella norma UNI/TS 11300-1 (maggiorazione in percentuale della trasmittanza termica della parete, compresa tra 5% e 30%).

PROCEDIMENTO

Ponti termici

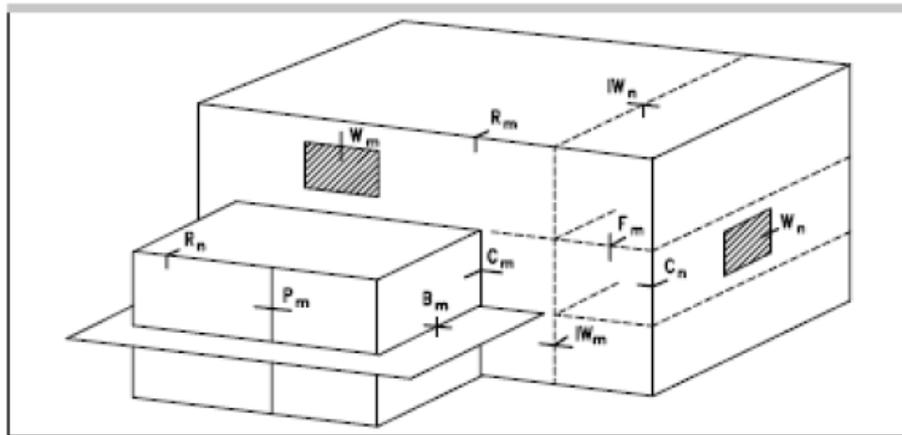


Figura 1: Edificio che mostra la posizione e le tipologie di ponti termici che si verificano di frequente in un edificio in accordo con lo schema riportato nel Prospetto 2 dell'UNI EN ISO 14683.

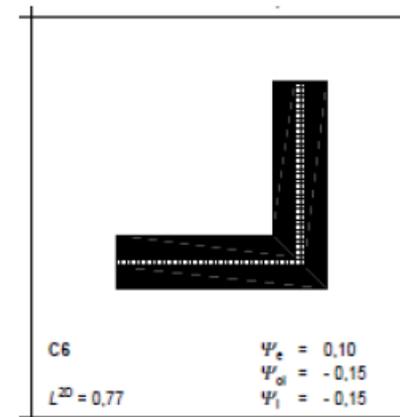
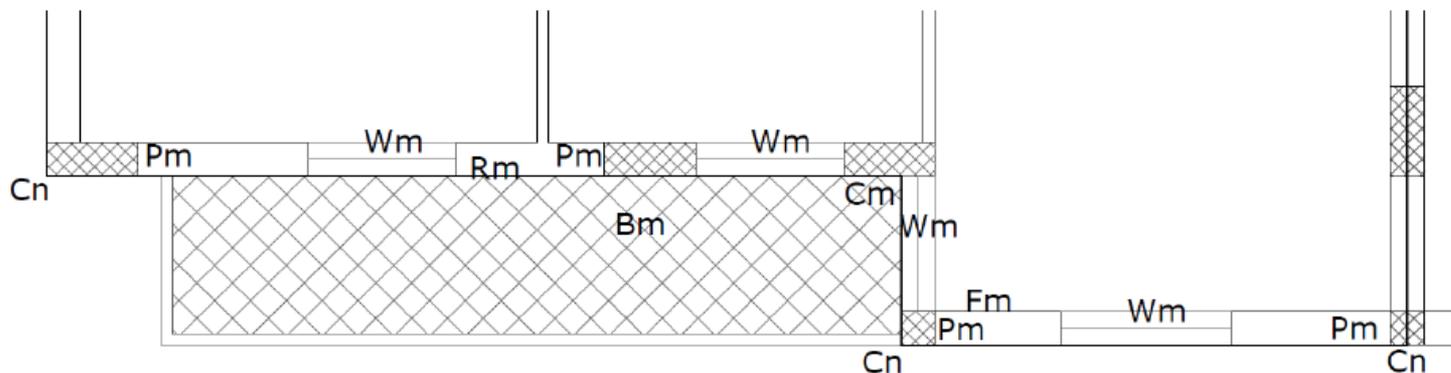


Figura 2: Dettaglio del ponte termico – tipo angolo – con strato isolante principale nella parte intermedia. Prospetto 2 dell'UNI EN ISO 14683.

$$H_{D,o} = \sum U_{c,k} A_{c,k} + \sum \Psi_k I_k$$



PROCEDIMENTO

Coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno

$$H_D = H_{D,o} + H_{D,f}$$

$$H_{D,f} = \sum_k A_{w,k} U_{f,k} \quad [W/K]$$

$H_{D,f}$ è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso superfici trasparenti

$U_{f,k}$ è la trasmittanza termica del k-esimo componente trasparente $[W/m^2K]$

$A_{w,k}$ è l'area del componente trasparente $[m^2]$

La trasmittanza termica del k-esimo componente trasparente si calcola con la UNI EN ISO 10077:

$$U = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

A_g e A_f sono l'area della parte vetrata e del telaio $[m^2]$

U_g e U_f sono le trasmittanze della parte vetrata e del telaio $[W/m^2K]$

Ψ_g è la trasmittanza termica lineare dovuta agli effetti termici combinati della vetrata, del distanziatore e del telaio $[W/mK]$

l_g è la lunghezza del telaio $[m]$

PROCEDIMENTO

Coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno

Il calcolo rigoroso deve essere fatto secondo la UNI EN ISO 13370, nei casi di pavimenti controterra, pavimenti su intercapedine, pavimenti su piani interrati riscaldati, pavimenti su piani interrati non riscaldati.

Per gli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, il coefficiente di accoppiamento termico in regime stazionario è calcolato come:

$$H_g = A \times U_f \times b_{tr,g} \quad [W/K]$$

A è l'area dell'elemento di pavimento [m^2]

U_f è la trasmittanza termica della parte sospesa del pavimento (tra l'ambiente interno e lo spazio sottopavimento) [W/m^2K]

$b_{tr,g}$ è dato dal Prospetto 6 della norma UNI/TS 11300-1

Fattore di correzione $b_{tr,g}$

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

PROCEDIMENTO

Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati

Il calcolo rigoroso deve essere fatto secondo la UNI EN ISO 13789, conoscendo il coefficiente di trasferimento del calore diretto tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato, e il coefficiente di trasferimento del calore tra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno, Per gli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, il coefficiente di accoppiamento termico è calcolato come:

$$H_U = A_{iu} \times U_{s,iu} \times b_{tr,x} \quad [W/K]$$

A_{iu} è l'area del componente edilizio verso l'ambiente non climatizzato [m^2]

$U_{s,iu}$ è la trasmittanza termica del componente edilizio verso l'ambiente non climatizzato (tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato) [W/m^2K]

$b_{tr,x}$ è dato dal Prospetto 5 della norma UNI/TS 11300-1

PROCEDIMENTO

Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati

Fattore di correzione $b_{tr,x}$

Ambiente confinante	$b_{tr,x}$
Ambiente	
- con una parete esterna	0,4
- senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0,5
- con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne (per esempio autorimesse)	0,6
- con tre pareti esterne (per esempio vani scala esterni)	0,8
Piano interrato o seminterrato	
- senza finestre o serramenti esterni	0,5
- con finestre o serramenti esterni	0,8
Sottotetto	
- tasso di ventilazione del sottotetto elevato (per esempio tetti ricoperti con tegole o altri materiali di copertura discontinua) senza rivestimento con feltro o assito	1,0
- altro tetto non isolato	0,9
- tetto isolato	0,7
Aree interne di circolazione (senza muri esterni e con tasso di ricambio d'aria minore di $0,5 \text{ h}^{-1}$)	0,0

PROCEDIMENTO

Scambio termico per trasmissione verso altre zone climatizzate a temperatura diversa

Il coefficienti di scambio termico per trasmissione verso altre zone climatizzate a temperatura diversa è definito nel paragrafo 7 della norma UNI EN ISO 13789:2008 come:

$$H_A = b H_{ia} \quad b = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_e}$$

H_{ia} è il coefficiente diretto di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente a diversa temperatura [W/K]

ϑ_i è la temperatura interna dell'edificio in esame [°C]

ϑ_a è la temperatura dell'edificio adiacente [°C]

ϑ_e è la temperatura esterna media mensile [°C]

nota: il valore b può essere negativo

PROCEDIMENTO

Extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} \times (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \times t + (\sum_k F_{r,k} \Phi_{r,mn,k}) \times t \quad [\text{kWh}]$$

Il calcolo dell'extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste è effettuato secondo quanto riportato nella UNI EN ISO 13790 adottando le seguenti ipotesi:

$$\Phi_{r,mn,k} = R_{se} \times U_{c,k} \times A_{c,k} \times h_r \times \Delta\theta_{er} \quad [\text{W}]$$

R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna dell'elemento, determinata secondo la ISO UNI EN ISO 6946 pari a 0,04 [m²K/W] (l'inverso del coefficiente liminare)

$U_{c,k}$ è la trasmittanza termica dell'elemento [W/m²K]

$A_{c,k}$ è l'area proiettata dell'elemento [m²]

h_r è il coefficiente di scambio termico per irraggiamento esterno [W/m²K]

$\Delta\theta_{er}$ è la differenza media tra la temperatura dell'aria esterna e la temperatura apparente del cielo pari a 11 K

PROCEDIMENTO

Extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

$$h_r = 4 \varepsilon \sigma (\vartheta_{ss} + 273)^3$$

ε è l'emissività relativa alla radiazione infrarossa della superficie esterna

$\varepsilon = 0,9$ per strutture opache $\varepsilon = 0,837$ per i vetri

σ è la costante di Stefan-Boltzmann $5,67 \times 10^{-8} [W/(m^2 K^4)]$

ϑ_{ss} è la media aritmetica della temperatura della superficie e della temperatura della volta celeste [$^{\circ}C$]

Ad una prima approssimazione h_r può essere posto uguale a $5\varepsilon [W/(m^2 K)]$, che corrisponde ad una temperatura media di $10^{\circ}C$.

Quando la temperatura della volta celeste non è disponibile dai dati climatici, la differenza media $\Delta\vartheta_{er}$ tra la temperatura dell'aria esterna e la temperatura della volta celeste dovrebbe essere assunta pari a 9 K nelle aree sub-polari, 13 K ai tropici e 11 K nelle zone intermedie.

$$F_{r,k} = F_{sh,ob,dif} (1 + \cos S) / 2$$

$F_{sh,ob,dif}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo alla sola radiazione diffusa, pari a 1 in assenza di ombreggiature da elementi esterni

S l'angolo di inclinazione del componente sull'orizzonte

$\cos S = 1$ per $S = 0^{\circ}$ coperture orizzontali

$\cos S = 0$ per $S = 90^{\circ}$ pareti verticali

PROCEDIMENTO

Scambio termico per ventilazione

Per ciascun mese del periodo di riscaldamento, gli scambi termici per ventilazione si calcolano come:

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

$H_{ve,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura tra interno ed esterno [W/K]

$\vartheta_{int,set,H}$ è la temperatura interna di regolazione per il riscaldamento della zona considerata pari a 20°

ϑ_e è la temperatura media mensile dell'ambiente esterno come da norma UNI 10349 [°C]

t è la durata del mese considerato in ore [h]

La normativa prevede i ricambi d'aria dipendenti dall'occupazione dei locali e dalla loro destinazione d'uso in maniera tale da garantire un'adeguata qualità dell'aria.

Si rimanda alla norma UNI EN ISO 13789.

PROCEDIMENTO

Scambio termico per ventilazione

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno, si ricava come:

$$H_{ve,adj} = \rho_a c_a \times (\sum_k b_{ve,k} q_{ve,k,mn}) \quad [W/K]$$

$\rho_a c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 1200 [J/m³ K]

$b_{ve,k}$ è il fattore di correzione della temperatura per il flusso d'aria k-esimo

($b_{ve,k} \neq 1$ se la temperatura di mandata non è uguale alla temperatura dell'ambiente esterno, come nel caso di pre-riscaldamento, pre-raffrescamento o di recupero termico dell'aria di ventilazione)

$q_{ve,k,mn}$ è la portata mediata sul tempo del flusso d'aria k-esimo [m³/h]

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

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

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

per gli edifici residenziali si assume $q_{ve,k} = n \times V_{netto}$

con $n=0,3$ vol/h e $V_{netto} = 70\%$ del volume lordo

PROCEDIMENTO

Apporti gratuiti interni

Il contributo dei carichi interni è valutato nella seguente modo:

$$Q_{int} = \{ \sum_k \Phi_{int,mn,k} \} \times t + \{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \Phi_{int,mn,u,l} \} \times t \quad [\text{kWh}]$$

$\Phi_{int,mn,k}$ è il flusso termico prodotto dalla k -esima sorgente di calore interna, mediato sul tempo [W]

$\Phi_{int,mn,u,l}$ è il flusso termico prodotto dalla l -esima sorgente di calore interna nell'ambiente non climatizzato adiacente u mediato sul tempo [W]

$b_{tr,l}$ è il fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato avente la sorgente di calore interna l -esima

t è la durata del mese considerato in ore [h]

Per gli edifici di categoria E.1 (1) e E.1 (2) (abitazioni), aventi superficie utile di pavimento A_f minore o uguale a 170 m^2 , il valore globale degli apporti interni espresso in W è ricavato come: $\Phi_{int} = 5,294 \times A_f - 0,01557 \times A_f^2$

Per superficie utile di pavimento maggiore di 170 m^2 il valore di Φ_{int} è pari a 450 W

Per edifici di altre categorie si veda il prospetto 8 della UNI/TS 11300-1.

PROCEDIMENTO

Apporti termici solari

Gli apporti di calore solari derivano dall'irraggiamento medio della località interessata, dall'orientamento della superficie, dagli ombreggiamenti, dalle caratteristiche di assorbimento delle superfici; per ogni zona dell'edificio e per ogni mese, gli apporti termici si calcolano come:

$$Q_{sol} = \{ \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \} \times t + \{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \Phi_{sol,mn,u,l} \} \times t \quad [\text{kWh}]$$

$\Phi_{sol,mn,k}$ è il flusso termico k -esimo di origine solare, mediato sul tempo [W]

$\Phi_{sol,mn,u,l}$ è il flusso termico l -esimo di origine solare nell'ambiente non climatizzato adiacente u , mediato sul tempo [W]

$b_{tr,l}$ è il fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato avente il flusso termico l -esimo di origine solare

t è la durata del mese considerato in ore [h]

PROCEDIMENTO

Apporti termici solari

Il flusso termico k-esimo di origine solare si calcola con la seguente formula:

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \times A_{sol,k} \times I_{sol,k} \quad [\text{kWh}]$$

$F_{sh,ob,k}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima;

$A_{sol,k}$ è l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, nella zona o ambiente considerato [m^2]

$I_{sol,k}$ è l'irradianza solare media mensile, sulla superficie k-esima, con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, ricavata dalla norma UNI 10349 [MJ/m^2]

PROCEDIMENTO

Apporti termici solari

Fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima:

$$F_{sh,ob,k} = F_{hor} \times F_{ov} \times F_{fin}$$

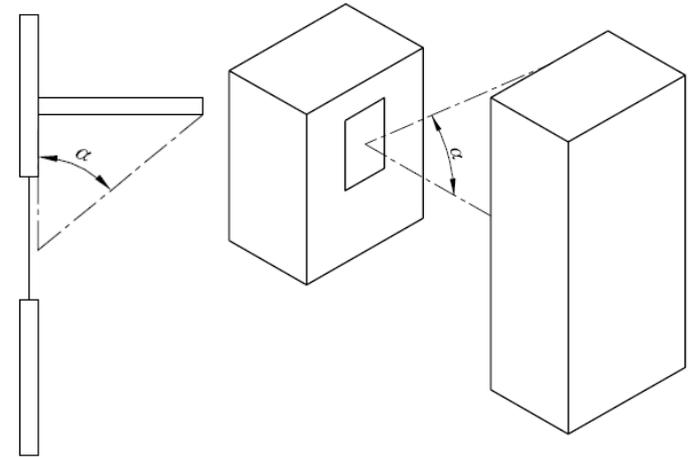
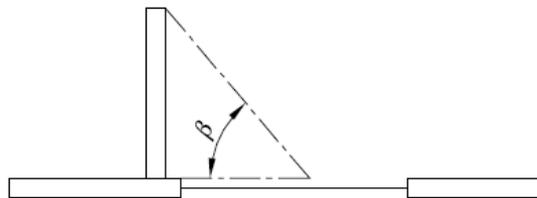
F_{ohr} è il fattore di ombreggiamento relativo ad ostruzioni esterne

F_{ov} è il fattore di ombreggiamento relativo ad aggetti orizzontali

F_{in} è il fattore di ombreggiamento relativo ad aggetti verticali

I valori dei fattori di ombreggiatura dipendono dalla latitudine, dall'orientamento dell'elemento ombreggiato, dal periodo di riscaldamento considerato e dalle caratteristiche geometriche degli elementi ombreggianti.

Tali caratteristiche sono descritte da un parametro angolare (i tre fattori di ombreggiatura sono calcolati mediante interpolazione lineare dei dati tabellati nell' Appendice D della UNI/TS 11300-1).



PROCEDIMENTO

Apporti termici solari

Area di captazione solare:

$$A_{sol,k} = A_{sol,k,w} + A_{sol,k,c} \quad [m^2]$$

$A_{sol,k,w}$ è l'area di captazione solare effettiva di un componente vetrato $[m^2]$

$A_{sol,k,c}$ è l'area di captazione solare effettiva di un componente opaco $[m^2]$

Gli apporti solari che giungono all'interno attraverso una vetrata dipendono, oltre dal tipo di vetro, anche dalla struttura del componente e dall'efficacia di eventuali schermature (es. tende, tapparelle). La norma richiede il calcolo di una superficie equivalente chiamata area di captazione solare effettiva.

$$A_{sol,k,w} = F_{sh,gl} \ g_{gl} \ (1-F_F) \ A_{w,p} \quad [m^2] \qquad g_{gl} = F_w \times g_{gl,n}$$

$F_{sh,gl}$ è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili

g_{gl} è la trasmittanza di energia solare della parte trasparente del componente

F_w è il fattore di esposizione ($\sim 0,9$)

$g_{gl,n}$ è la trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale (doppio vetro $\sim 0,75$)

$1-F_F$ è il fattore di correzione dovuto al telaio, pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'unità vetrata del serramento ($\sim 0,8$)

$A_{w,p}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra)

PROCEDIMENTO

Apporti termici solari

L'area di captazione solare effettiva della parete opaca dell'involucro edilizio A_{sol} dipende dal colore del componente:

$$A_{sol} = a_{sol,c} R_{se} U_c A_c \quad [m^2]$$

a_{sol} è il fattore di assorbimento solare del componente opaco

R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna del componente opaco [m^2K/W]

U_c è la trasmittanza termica del componente opaco [W/m^2K]

A_c è l'area proiettata del componente opaco [m^2]

$a_{sol} = 0,3$ per colore chiaro della superficie esterna

$a_{sol} = 0,6$ per colore medio della superficie esterna

$a_{sol} = 0,9$ per colore scuro della superficie esterna

PROCEDIMENTO

Fattore di utilizzazione degli apporti termici

Il fattore di utilizzazione degli apporti termici per il calcolo del fabbisogno di riscaldamento si calcola come:

$$\eta_{H,gn} = (1 - \gamma_H^{a_H}) / (1 - \gamma_H^{a_H+1}) \quad \text{se } \gamma_H > 0 \text{ e } \gamma_H \neq 1$$

$$\eta_{H,gn} = a_H / (a_H + 1) \quad \text{se } \gamma_H = 1$$

$$a_H = a_{H,0} + \tau / \tau_{H,0} \quad \gamma_H = Q_{gn} / Q_{H,ht}$$

$Q_{H,ht}$ è lo scambio termico totale (trasmissione + ventilazione) [kWh]

Q_{gn} sono gli apporti termici totali (somma dei contributi interni e solari) [kWh]

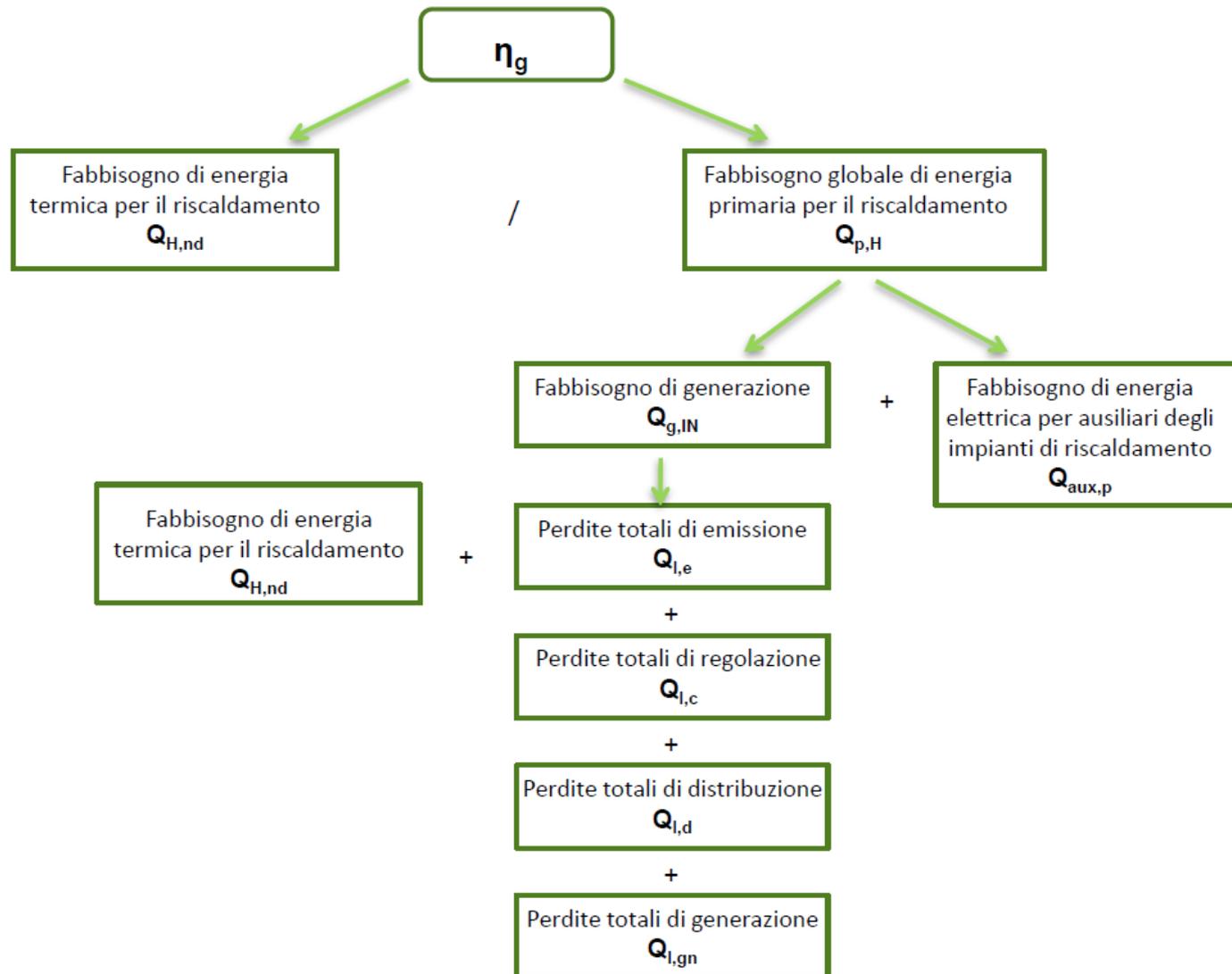
τ è la costante di tempo della zona termica, espressa in ore, calcolata come rapporto tra la capacità termica interna della zona termica considerata (C_m) e il suo coefficiente globale di scambio termico [h]

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si può assumere $a_{H,0}=1$ e $\tau_{H,0}=15$ h

$$\tau = (C_m / 3600) / (H_{tr,adj} + H_{ve,adj})$$

C_m è la capacità termica interna in kJ/K determinata come il prodotto delle caratteristiche costruttive dei componenti edilizi (prospetto 16 della UNI/TS 11300-1) e della superficie A_f

Rendimento medio stagionale



PROCEDIMENTO

Fabbisogno termico di energia utile

Una volta calcolati tutti i contributi necessari, si passa a calcolare il fabbisogno di energia utile nei due regimi di funzionamento continuo ed intermittente.

regime di funzionamento continuo: la temperatura è uguale al valore di set-point per tutto l'arco della giornata;

regime di funzionamento con intermittenza giornaliera: caratterizzato da una temperatura di attenuazione giornaliera, durata in ore del periodo di attenuazione giornaliera, sistema di regolazione della temperatura interna (termostato ambiente o regolazione con centrale climatica...).

PROCEDIMENTO

Rendimento medio stagionale

Il rendimento medio stagionale è il rapporto tra il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento invernale e l'energia sviluppata dalle fonti energetiche. Il D.M. 26/06/2009 "Linee guida nazionali per la certificazione degli edifici" prevede che, a partire dalle prestazioni dell'involucro edilizio, si calcoli mediante la norma UNI/TS 11300-2 la prestazione del sistema edilizio-impianto in relazione allo specifico impianto installato. La prestazione energetica dell'edificio è misurata tramite il rendimento medio stagionale dell'impianto di riscaldamento:

$$\eta_g = Q_{H,nd} / Q_{p,H}$$

$Q_{H,nd}$ è il fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento [kWh]

$Q_{p,H}$ è il fabbisogno globale di energia primaria per riscaldamento [kWh]

PROCEDIMENTO

Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento

Il fabbisogno globale di energia primaria è dato da:

$$Q_{p,H} = Q_{gn,IN} + Q_{aux,p} \quad [kWh]$$

$Q_{gn,IN}$ è il fabbisogno di generazione [kWh]

$Q_{aux,p}$ il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di riscaldamento [kWh]

Il fabbisogno di generazione è definito è dato da:

$$Q_{gn,IN} = Q_{H,nd} + Q_{l,e} + Q_{l,c} + Q_{l,d} + Q_{l,gn}$$

$Q_{H,nd}$ è il fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento [kWh]

$Q_{l,e}$ sono le perdite totali di emissione [kWh]

$Q_{l,c}$ sono le perdite totali di regolazione [kWh]

$Q_{l,d}$ sono le perdite totali di distribuzione [kWh]

$Q_{l,gn}$ sono le perdite totali di generazione [kWh]

PROCEDIMENTO

Sottosistema di emissione

I sistemi di emissione dell'energia termica sviluppata dal generatore possono essere diversi, ognuno con un rendimento diverso a seconda della tipologia. Il contributo delle perdite di emissione $Q_{l,e}$ è calcolato sulla base del rendimento di emissione η_e :

$$Q_{l,e} = Q_{H,nd} \times (1 - \eta_e) / \eta_e \quad [\text{kWh}]$$

$Q_{H,nd}$ è il fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento [kWh]

η_e è il rendimento di emissione (prospetto 17-18-19 UNI/TS 11300-2)

Per coprire le perdite di emissione il sistema deve soddisfare il fabbisogno (di emissione) totale:

$$Q_{e,IN} = Q_{H,nd} + Q_{l,e} \quad [\text{kWh}]$$

PROCEDIMENTO

Sottosistema di regolazione

Il rendimento di regolazione è un parametro che esprime la deviazione tra la quantità di energia richiesta in condizioni reali rispetto a quelle ideali. Il contributo delle perdite di emissione $Q_{l,c}$ è calcolato sulla base del rendimento di regolazione η_c :

$$Q_{l,c} = Q_{e,IN} \times (1 - \eta_c) / \eta_c \quad [\text{kWh}]$$

$Q_{e,IN}$ è il fabbisogno di emissione [kWh]

η_c è il rendimento di regolazione (prospetto 20 UNI/TS 11300-2)

Per coprire le perdite di regolazione il sistema deve soddisfare il fabbisogno totale (di regolazione):

$$Q_{c,IN} = Q_{e,IN} + Q_{l,c} \quad [\text{kWh}]$$

PROCEDIMENTO

Sottosistema di distribuzione

Le perdite di distribuzione $Q_{l,d}$ vengono calcolate sulla base del rendimento di distribuzione η_d applicato al fabbisogno di regolazione $Q_{c,IN}$ secondo la formula:

$$Q_{l,d} = Q_{c,IN} \times (1 - \eta_d) / \eta_d \quad [\text{kWh}]$$

$Q_{c,IN}$ è il fabbisogno di regolazione [kWh]

η_d è il rendimento di distribuzione (prospetti 21 a/e - 22 UNI/TS 11300-2)

Per coprire le perdite di distribuzione il sistema deve soddisfare il fabbisogno totale (di distribuzione):

$$Q_{d,IN} = Q_{c,IN} + Q_{l,d} \quad [\text{kWh}]$$

Nel caso d'edificio di nuova costruzione è obbligatorio calcolare le perdite del sottosistema di distribuzione con il metodo analitico. Di conseguenza risulta in questo caso non corretto il ricorso a dati precalcolati. Si deve descrivere pertanto il percorso totale dei vari tubi del sistema di alimentazione.

PROCEDIMENTO

Sottosistema di generazione

Le perdite di generazione tengono conto delle caratteristiche del generatore e delle sue modalità di utilizzo, e vengono calcolate sulla base del rendimento di generazione η_{gn} applicato al fabbisogno di distribuzione $Q_{d,IN}$ secondo la formula:

$$Q_{l,gn} = Q_{d,IN} \times (1 - \eta_{gn}) / \eta_{gn} \quad [\text{kWh}]$$

$Q_{d,IN}$ è il fabbisogno di distribuzione [kWh]

η_{gn} è il rendimento di generazione (prospetti 23 a/e - 24 UNI/TS 11300-2)

Per coprire le perdite di generazione il sistema deve soddisfare il fabbisogno totale (di generazione):

$$Q_{gn,IN} = Q_{d,IN} + Q_{l,gn} \quad [\text{kWh}]$$

PROCEDIMENTO

Fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di riscaldamento

Il fabbisogno totale è dato da:

$$Q_{H,aux} = Q_{aux,e} + Q_{aux,d} + Q_{aux,gn} \text{ [Wh/periodo considerato]}$$

$Q_{aux,e}$ è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di emissione (prospetto 25 UNI/TS 11300-2)

$Q_{aux,d}$ è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione paragrafo 6.7.3 UNI/TS 11300-2 - prospetto 27 UNI/TS 11300-2)

$Q_{aux,gn}$ è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di generazione (paragrafo B.2.8 UNI/TS 11300-2)

Per il sottosistema di regolazione non si considerano fabbisogni elettrici.

Il fabbisogno è espresso in Wh per stagione di riscaldamento (per mese, per anno) per l'edificio.

PROCEDIMENTO

Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

Una volta calcolate le perdite di generazione si definisce il fabbisogno di energia in ingresso al generatore che insieme all'energia primaria richiesta dagli ausiliari elettrici contribuisce a determinare il fabbisogno di energia primaria.

$$Q = Q_{gn,IN} + (Q_{aux,e} + Q_{aux,d} + Q_{aux,gn})/\eta_{sen}$$

$Q_{gn,IN}$ è l'energia in ingresso al sistema di generazione

$Q_{aux,e}$ è l'energia elettrica necessaria agli ausiliari elettrici del sistema di emissione

$Q_{aux,d}$ è l'energia elettrica necessaria agli ausiliari elettrici del sistema di distribuzione

$Q_{aux,gn}$ è l'energia elettrica necessaria agli ausiliari elettrici del sistema di generazione

η_{sen} è il rendimento del servizio elettrico nazionale

PROCEDIMENTO

Indice di prestazione energetica

Il fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale è la quantità di energia primaria globalmente richiesta, nel corso di un anno, per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura di progetto, in regime di attivazione continuo.

Indice di prestazione energetica EP esprime il fabbisogno di energia primaria riferito ad un singolo uso energetico dell'edificio (a titolo d'esempio: alla sola climatizzazione invernale e/o alla climatizzazione estiva e/o produzione di acqua calda per usi sanitari e/o illuminazione artificiale) riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo, espresso rispettivamente in kWh/m²anno o kWh/m³anno.

PROCEDIMENTO

Metodo semplificato di cui al paragrafo 6.8 della UNI/TS 11300-2

Il metodo prevede il calcolo del fabbisogno di energia primaria su base stagionale per la climatizzazione invernale e del fabbisogno per l'acqua calda sanitaria su base annua. La somma dei due fabbisogni determina il fabbisogno annuo per riscaldamento e acqua calda sanitaria dell'edificio.

Per quanto attiene il calcolo delle perdite d'impianto, ai fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria, il metodo è in accordo con quanto specificato nella specifica tecnica, con le seguenti precisazioni:

- 1) come per il fabbisogno di energia anche per l'impianto il periodo di calcolo è la stagione legale di riscaldamento nella zona climatica considerata per quanto attiene la climatizzazione invernale e l'anno per quanto attiene la produzione di acqua calda sanitaria
- 2) si trascurano le perdite recuperate dal sistema di acqua calda sanitaria
- 3) si determinano le perdite di emissione e di regolazione con i dati dei prospetti della specifica tecnica
- 4) si determinano le perdite di distribuzione con i valori del prospetto 21 in relazione alla tipologia della rete applicando i fattori di correzione per la temperatura media della rete del prospetto 22 e si trascurano i recuperi di energia termica dagli ausiliari elettrici della distribuzione (pompe di circolazione)

PROCEDIMENTO

Metodo semplificato di cui al paragrafo 6.8 della UNI/TS 11300-2

- 5) si calcola la potenza media stagionale assumendo il numero di giorni legali di riscaldamento $\times 24$
- 6) si calcola la potenza nominale richiesta al generatore di calore in base al fabbisogno calcolato con il parametro FC_{CLIMA} (fattore climatico di carico medio stagionale della località considerata definito come rapporto la differenza di temperatura media stagionale tra interno ed esterno e la differenza di temperatura tra interno ed esterno di progetto); in mancanza di tale dato si può assumere il valore 0,5
- 7) si calcola il fattore di carico medio del generatore con l'equazione B.2
- 8) si determina il fattore di dimensionamento del generatore F1 e si determinano le perdite di generazione in base al prospetto 23, al fattore F1 e agli altri fattori relativi all'installazione del generatore
- 9) si calcola la potenza elettrica degli ausiliari del generatore di calore con l'equazione B.18 assumendo i valori del prospetto B.4
- 10) la potenza elettrica di eventuale pompa primaria si assume pari a 100 W
- 11) si determina il fabbisogno globale annuo per riscaldamento sommando al fabbisogno di generazione il fabbisogno di energia primaria degli ausiliari

[Prospetto29 Uni Ts 11300-2.pdf](#)

PROCEDIMENTO

Metodo semplificato di cui alle Linee Guida Nazionali (allegato 2)

L'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale da attribuire all'appartamento per la sua certificazione energetica (EPI) può essere ricavato come:

$$EP_i = \frac{(Q_h/A_{pav})}{\eta_g} \quad [kWh/m^2\text{anno}]$$

Q_h è il fabbisogno di energia termica dell'edificio [kWh]

A_{pav} è la superficie utile calpestabile [m^2]

η_g è il rendimento globale medio stagionale

Il fabbisogno di energia termica Q_h è dato da:

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

GG sono i gradi giorno della città nella quale viene ubicato l'edificio

H_T il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno - esterno di ciascuna superficie disperdente [W/k]

H_V è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione [W/k]

f_x è il coefficiente di utilizzazione degli apporti gratuiti assunto pari a 0,95

Q_s sono gli apporti solari attraverso i componenti di involucro trasparenti (MJ)

Q_i sono gli apporti gratuiti interni (MJ)

PROCEDIMENTO

Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione

$$H_T = \sum_1^n S_i \cdot U_i \cdot b_{tr,i} \quad [W/K]$$

S_i sono le superfici esterne che racchiudono il volume lordo riscaldato. Non si considerano le superfici verso altri ambienti riscaldati alla stessa temperatura [m^2]

U_i è la trasmittanza termica della struttura [W/m^2K]

Nell'impossibilità di reperire le stratigrafie delle pareti opache e delle caratteristiche degli infissi possono essere adottati i valori riportati nella norma UNI-TS 11300-1

$b_{tr,i}$ è fattore di correzione dello scambio termico verso ambienti non climatizzati o verso il terreno (adimensionale)

I valori del coefficiente $b_{tr,i}$ si ricavano:

- per superfici disperdenti verso ambienti non riscaldati: Prospetto 5 UNI/TS 11300-1
- per superfici disperdenti verso il terreno: Prospetto 6 UNI/TS 11300-1

PROCEDIMENTO

Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione

$$H_V = 0,34 \cdot n \cdot V_{netto} \quad [\text{W/K}]$$

n numero di ricambi d'aria pari a 0,3 vol/h

V_{netto} è il volume netto dell'ambiente climatizzato (se non è noto: 70% del volume lordo)

Apporti solari attraverso i componenti di involucro trasparente

$$Q_s = 0,2 \cdot \sum_{\text{esposiz.}} I_{sol,i} S_{serr,i}$$

0,2 è un coefficiente di riduzione che tiene conto del fattore solare degli elementi trasparenti e degli ombreggiamenti medi

$I_{sol,i}$ è l'irradianza totale stagionale (nel periodo di riscaldamento) sul piano verticale, per ciascuna esposizione [kWh/m^2]

$S_{serr,i}$ è la superficie del serramento [m^2]

Il valore $I_{sol,i}$ si calcola come sommatoria dei valori di irradianza media mensile sul piano verticale riportati nella UNI 10349, estesa ai mesi della stagione di riscaldamento. Per i mesi non completamente ricompresi nella stagione di riscaldamento (es. ottobre ed aprile per la zona E) si utilizza un valore di irradianza pari alla quota parte del mese

PROCEDIMENTO

Apporti gratuiti interni

$$Q_i = (\Phi_{int} \cdot A_{pav} \cdot h) / 1000 \quad [kWh]$$

Φ_{int} sono gli apporti gratuiti interni, valore convenzionale assunto pari a 4 W/m² per edifici residenziali

A_{pav} è la superficie utile calpestabile [m²]

h sono il numero di ore della stagione di riscaldamento

Rendimento globale medio stagionale

$$\eta_g = \eta_e \times \eta_{rg} \times \eta_d \times \eta_{gn}$$

η_e è il rendimento di emissione (prospetto 17-18-19 UNI/TS 11300-2)

η_{rg} è il rendimento di regolazione (prospetto 20 UNI/TS 11300-2)

η_d è il rendimento di distribuzione (prospetti 21 a/e - 22 UNI/TS 11300-2)

η_{gn} è il rendimento di generazione (prospetti 23 a/e - 24 UNI/TS 11300-2)