

# Calcolo dell'efficienza complessiva degli edifici

## INDICE

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Simboli per le formule</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Struttura generale del calcolo</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Calcolo del fabbisogno di riscaldamento</b>	<b>14</b>
4.1	Dati dell'edificio	14
4.2	Fabbisogno di riscaldamento	16
4.3	Perdite di calore per trasmissione	17
4.4	Perdite di calore per ventilazione	20
4.5	Apporti termici interni	22
4.6	Apporti termici solari	23
4.7	Fattore di utilizzo degli apporti di calore	24
4.8	Rapporto tra apporti termici e perdite di calore	25
4.9	Carico termico specifico	25
4.10	Fabbisogno termico specifico per riscaldamento	25
<b>5</b>	<b>Determinazione del fabbisogno complessivo di energia</b>	<b>26</b>
5.1	Fabbisogno complessivo di energia	26
5.2	Fabbisogno complessivo di energia termica	26
5.3	Produzione di acqua calda	27
5.4	Umidificazione	32
5.5	Impianto solare	33
5.6	Resistenze elettriche per produzione acqua calda	34
5.7	Impianto di ventilazione	35
5.8	Cogenerazione	36
5.9	Pompa di calore elettrica	37
5.10	Pompa di calore ad assorbimento	38
5.11	Fabbisogno rimanente di calore	38
5.12	Fabbisogno di energia elettrica	40
5.13	Raffrescamento	42
5.14	Energia ausiliaria	47
5.15	Efficienza complessiva ed emissioni di CO <sub>2</sub>	51
5.16	Coefficiente di prestazione dell'impianto / fabbisogno di energia primaria / fonti rinnovabili	52
<b>6</b>	<b>Tabelle con i dati per i calcoli</b>	<b>53</b>

# 1 Introduzione

Il bilancio energetico illustrato in questo fascicolo consente di calcolare il fabbisogno energetico degli edifici a lungo termine. Questo metodo si può applicare per le seguenti tipologie di edifici:

- Edifici abitativi
- Edifici non abitativi
- Edifici di nuova costruzione o ristrutturati

Oltre al calcolo del fabbisogno energetico, questa versione offre anche un metodo di calcolo per definire l'efficienza energetica complessiva degli edifici. In questo modo è possibile stabilire attraverso un procedimento di calcolo il fabbisogno energetico annuo necessario per soddisfare le esigenze di un determinato edificio.

Oltre al consumo di energia per le seguenti attività

- Riscaldamento
- Condizionamento aria ambiente
- Raffrescamento
- Produzione acqua calda
- Illuminazione

si tiene anche conto, a seconda dei casi, delle energie di tipo ausiliario, oltre che dell'utilizzo che ne fanno gli utenti, e delle condizioni di funzionamento dell'impianto. In tal modo questo tipo di calcolo consente una valutazione oggettiva di tutte le quantità di energia necessarie a soddisfare il fabbisogno di un dato edificio.

Per sistemi di impianti più complessi, dove il seguente calcolo dell'efficienza complessiva risulta troppo semplificativa. Il tecnico esplicitamente per il calcolo dell'efficienza complessiva si può attenere a norme specifiche più dettagliati.

## 2 Simboli per le formule

Simbolo	Descrizione	Unità di misura
$a_1$	Coefficiente di dispersione del collettore solare misurato sperimentalmente	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$a_2$	Coefficiente di dispersione del collettore solare misurato sperimentalmente	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$A_B$	Superficie di dispersione termica dell'involucro dell'edificio	m <sup>2</sup>
$A_f$	Superficie dell'infisso (telaio e battente)	m <sup>2</sup>
$A_g$	Superficie di vetro	m <sup>2</sup>
$A_i$	Superficie dell'elemento strutturale <i>i</i>	m <sup>2</sup>
$A_N$	Superficie irraggiata netta del collettore solare	m <sup>2</sup>
$A_{Ph}$	Superficie netta del modulo solare fotovoltaico	m <sup>2</sup>
$A_w$	Superficie della finestra	m <sup>2</sup>
$A/V$	Rapporto superficie-volume	m
$BGF_B$	Superficie lorda riscaldata del piano	m <sup>2</sup>
$BGF_{B,DG}$	Superficie lorda riscaldata del piano per soffitte abitabili	m <sup>2</sup>
$CO2_{NGF}$	Emissioni specifiche di CO <sub>2</sub> riferite alla superficie netta	kg/(m <sup>2</sup> ·a)
<b>COP</b>	Coefficiente di prestazione della pompa di calore	
$c_a$	Capacità termica specifica dell'aria	Wh/(kg·K)
$c_{p,w}$	Capacità termica specifica dell'acqua	kJ/(kg·K)
$d$	N° di giorni	d
$e_p$	Coefficiente di prestazione dell'impianto	-
<b>EER</b>	Indice di efficienza energetica di un gruppo frigorifero	
$f_A$	Fattore di sporco del collettore solare	-
$f_H$	Grado di utilizzo medio dei posti letto in strutture ricettive	%
$f_i$	Fattore di correzione della temperatura dell'elemento strutturale <i>i</i>	-
$f_N$	Coefficiente di correzione per inclinazione rispetto all'orizzonte	-
$f_P$	Fattore energia primaria	-
$f_S$	Coefficiente di correzione per scostamento dal sud	-
$f_{Sh,j}$	Fattore di riduzione per ombreggi delle finestre con orientamento <i>j</i>	-
$f_{SP}$	Fattore di carico estivo	-
$f_{WW}$	fabbisogno giornaliero specifico di acqua calda	l/(P·d)
$g$	trasmittanza di energia solare totale di una vetrata	-
$g_w$	trasmittanza di energia solare totale effettiva utile complessivo di una vetrata	-
$G$	Irradiazione globale media mensile su una superficie orizzontale	kWh/(m <sup>2</sup> ·d)
$G_K$	Irradianza globale	W/m <sup>2</sup>

Simbolo	Descrizione	Unità di misura
$h_e$	Entalpia dell'aria esterna	kJ/kg
$h_i$	Entalpia dell'aria ambiente	kJ/kg
$h_i^u$	Entalpia dell'aria ambiente umidificata	kJ/kg
$h_{DG}$	Altezza lorda del piano sottotetto	m
$HGT$	Gradi giorno mensili	Kd/M
$HT$	Numero di giorni mensili nel periodo di riscaldamento in cui è necessario riscaldare	d/M
$HT_{12}$	Numero totale di giorni nel periodo di riscaldamento	d
$KT_{18,3}$	Numero totale di giorni nel periodo di raffrescamento	d
$HWB_{NGF}$	Fabbisogno specifico di calore per il riscaldamento (rapportato alla superficie lorda)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
$I_j$	Somma degli irraggiamenti con orientamento $j$	kWh/(m <sup>2</sup> ·M)
$l$	Fattore di contemporaneità per l'illuminazione	-
$l_g$	Lunghezza perimetrale del telaio dell'elemento finestrato	m
$l_B$	Lunghezza sporgenza del balcone	m
$L_e$	coefficiente di scambio termico per elementi costruttivi a contatto con l'aria esterna	W/K
$L_g$	Coefficiente di scambio termico per elementi costruttivi a contatto con il terreno	W/K
$L_T$	Coefficiente globale di scambio termico dell'involucro dell'edificio	W/K
$L_u$	Coefficiente di scambio termico per elementi costruttivi confinanti con ambienti non riscaldati	W/K
$L_V$	Coefficiente specifico di ventilazione dell'involucro dell'edificio	W/K
$L_\chi$	Coefficiente globale di scambio termico dei ponti termici puntiformi	W/K
$L_\psi$	Coefficiente globale di scambio termico dei ponti termici lineari	W/K
$LENI$	Fabbisogno specifico di energia per illuminazione	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
$m_{CO_2}$	Emissioni di CO <sub>2</sub>	kg
$n$	Tasso di ricambio dell'aria	1/h
$n_x$	Tasso di ricambio d'aria implementato per corrente d'aria e spifferi	1/h
$n_k$	Numero collettori solari	-
$n_{ph}$	Numero moduli solari fotovoltaici	-
$NGF_B$	Superficie netta riscaldata per piano	m <sup>2</sup>
$NGF_K$	Superficie netta raffrescata per piano	m <sup>2</sup>
$P_1$	Carico termico specifico	W/m <sup>2</sup>
$P_A$	Potenza allacciamento elettrico	W
$P_{tot}$	Carico termico dell'edificio	W
$Pers$	Numero di persone presenti nell'edificio	P
$P_{B,th}$	Potenza termica dell'impianto di cogenerazione	kW
$P_{B,el}$	Potenza elettrica dell'impianto di cogenerazione	kW

Simbolo	Descrizione	Unità di misura
$P_{cw,el}$	potenza elettrica della pompa di calore	kW
$P_K$	Potenzialità della caldaia	kW
$P_S$	Carico estivo sensibile	kW
$P_L$	Carico estivo latente	kW
$p_s$	Pressione di saturazione del vapore ad una determinata temperatura	mbar
$p_{ges}$	Pressione atmosferica	mbar
$q_i$	Potenza termica specifica degli apporti interni di calore	W/m <sup>2</sup>
$q_{i,B}$	Potenza specifica media dell'illuminazione tradizionale	W/m <sup>2</sup>
$q_{i,B,ESL}$	Potenza specifica media dell'illuminazione a basso consumo	W/m <sup>2</sup>
$Q_{AB}$	Fabbisogno di energia da gas per alimentazione pompa di calore	kWh
$Q_{ab}$	Calore utile disponibile della pompa di calore ad assorbimento	kWh
$Q_{all}$	Fabbisogno energetico complessivo dell'edificio	kWh
$Q_{B,E}$	Fabbisogno di energia finale per l'impianto di cogenerazione	kWh
$Q_{B,el}$	Energia elettrica utile dell'impianto di cogenerazione	kWh
$Q_{B,th}$	Energia termica utile dell'impianto di cogenerazione	kWh
$Q_{cw}$	Quantità di calore generata dalla pompa di calore	kWh
$Q_{cw,el}$	Energia elettrica assorbita dalla pompa di calore	kWh
$Q_{DL}$	Quantità di calore sotto l'area della curva di continuità per l'impianto di cogenerazione	kWh
$Q_E$	Energia finale	kWh
$Q_{el}$	Fabbisogno di energia elettrica	kWh
$Q_{FW}$	Quantità di energia fornita dal teleriscaldamento	kWh
$Q_{grid}$	Energia elettrica prelevata dalla rete pubblica	kWh
$Q_h$	Fabbisogno di calore per riscaldamento	kWh
$Q_{H,el}$	Energia elettrica impianti ausiliari	kWh
$Q_i$	Apporti di energia per carichi interni	kWh
$Q_{i,el}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione	kWh
$Q_{ng}$	Fabbisogno energetico non coperto	kWh
$Q_{K,E}$	Energia finale della caldaia	kWh
$Q_{KÜ,el}$	Fabbisogno di energia elettrica per raffrescamento	kWh
$Q_P$	Fabbisogno complessivo di energia primaria	kWh
$Q_{Ph,el}$	Energia elettrica fornita dall'impianto fotovoltaico	kWh
$Q_R$	Fabbisogno di calore residuo	kWh
$Q_S$	Apporti termici solari durante il periodo di riscaldamento tramite elementi costruttivi trasparenti	kWh
$Q_{sol}$	Quantità di calore fornita dall'impianto solare	kWh

Simbolo	Descrizione	Unità di misura
$Q_T$	Perdite di calore per trasmissione durante il periodo di riscaldamento	kWh
$Q_{u,A}$	Quantità di calore per l'umidificazione	kWh
$Q_{u,D}$	Energia elettrica per umidificazione a vapore	kWh
$Q_V$	Perdite di calore per ventilazione durante il periodo di riscaldamento	kWh
$Q_{Ven}$	Fabbisogno energetico dell'impianto di ventilazione	kWh
$Q_{Ven,el}$	Quantità di calore per postriscaldamento nell'impianto di ventilazione	kWh
$Q_{Ven,l}$	Quantità di calore latente dell'impianto di ventilazione	kWh
$Q_{Ven,s}$	Quantità di calore sensibile dell'impianto di ventilazione	kWh
$Q_{Ven,HB,el}$	Energia elettrica della batteria di postriscaldamento nell'impianto di ventilazione	kWh
$Q_{Ven,u,el}$	Energia elettrica per l'umidificazione nell'impianto di ventilazione	kWh
$Q_{Ven,P,el}$	Energia elettrica per la pompa di calore interna dell'impianto di ventilazione	kWh
$q_{V,f}$	Portata dell'aria dell'impianto ventilazione forzata	m <sup>3</sup> /h
$Q_{WB}$	Fabbisogno complessivo di calore	kWh
$Q_{WW}$	Fabbisogno mensile di calore per la produzione di acqua calda sanitaria	kWh
$Q_{TWE}$	Fabbisogno complessivo annuale di calore per l'acqua calda	kWh/a
$Q_{WW,V}$	Dispersioni di calore del sistema di produzione dell'acqua calda sanitaria	kWh/a
$Q_{WW,el}$	Energia elettrica per la produzione di acqua calda sanitaria tramite resistenze elettriche	m <sup>2</sup> ·K/W
$q_{TW,S}$	Perdite di calore nell'accumulo dell'acqua calda sanitaria	kWh/m <sup>2</sup> a
$q_{TW,V}$	Perdite di distribuzione dell'acqua calda e nel ricircolo	kWh/m <sup>2</sup> a
$R_{si}$	Resistenza superficiale interna	m <sup>2</sup> ·K/W
$R_{se}$	Resistenza superficiale esterna	m <sup>2</sup> ·K/W
$R_T$	Resistenza termica totale	m <sup>2</sup> ·K/W
$R'_T$	Limite superiore di resistenza termica totale	m <sup>2</sup> ·K/W
$R''_T$	Limite inferiore di resistenza termica totale	m <sup>2</sup> ·K/W
$s$	Spessore di uno strato dell'elemento costruttivo	m
<b>SPF</b>	COP medio stagionale della pompa di calore	-
<b>SEER</b>	EER medio stagionale del gruppo frigorifero	-
$t_B$	Numero di ore di funzionamento dell'impianto di ventilazione al giorno	h
$t_u$	Numero di ore di funzionamento dell'impianto di illuminazione all'anno	h
$T_c$	Temperatura di condensazione del fluido termovettore della pompa di calore	K
$T_0$	Temperatura di evaporazione del fluido termovettore della pompa di calore	K
$T_{Wq,E}$	Temperatura della sorgente all'uscita dell'evaporatore	K

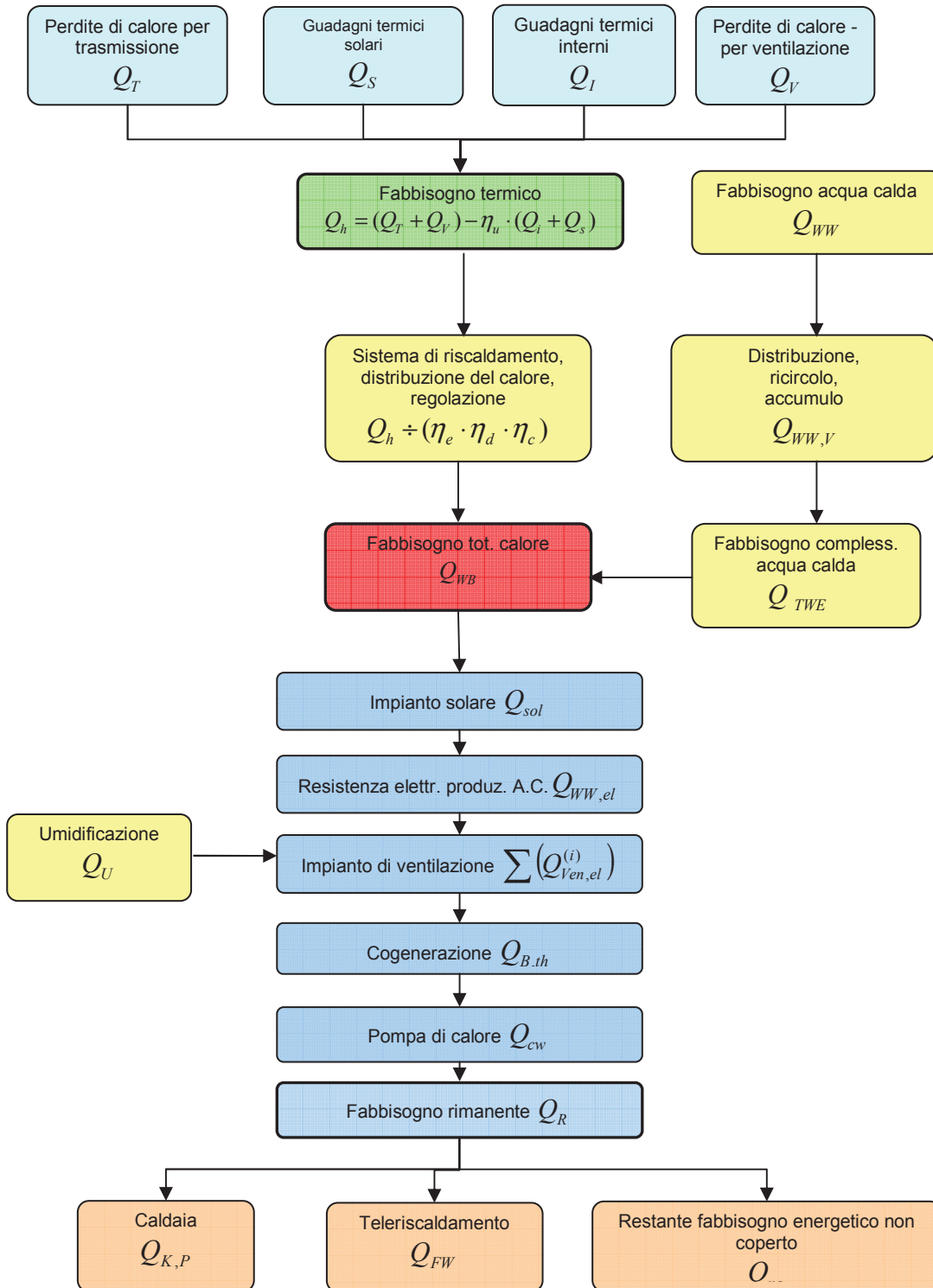
Simbolo	Descrizione	Unità di misura
$T_{Wq,A}$	Temperatura della sorgente all'entrata dell'evaporatore	K
$U_f$	Coefficiente di trasmissione del calore del telaio, senza tenere conto della cornice	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$U_g$	Coefficiente di trasmissione del calore del vetro, senza tenere conto della cornice	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$U_i$	Coefficiente di trasmissione del calore dell'elemento strutturale $i$	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$U_m$	Coefficiente medio di trasmissione globale dell'involucro dell'edificio	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$U_w$	Coefficiente di trasmissione del calore di una finestra	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$V_B$	Volume lordo dell'edificio riscaldato	m <sup>3</sup>
$V_{B,DG}$	Volume lordo della soffitta abitabile riscaldata	m <sup>3</sup>
$V_N$	Volume netto dell'edificio ventilato	m <sup>3</sup>
$\Delta T_{WW}$	Differenza di temperatura tra acqua fredda ed acqua calda	K
$\mathcal{E}_{CO_2}$	Emissione specifica di CO <sub>2</sub>	kg/kWh
$\mathcal{E}_{cw}$	Grado di rendimento del ciclo ideale di Carnot	-
$\mathcal{E}_w$	Rendimento della pompa di calore	-
$\mathcal{E}_w^p$	Rendimento della pompa di calore interna all'impianto di ventilazione	-
$\varphi_e$	Umidità relativa dell'aria	%
$\gamma$	Rapporto tra apporti termici e perdite di calore	-
$\eta_0$	Fattore di conversione del collettore solare, misurato sperimentalmente	-
$\eta_{B,el}$	Rendimento elettrico dell'impianto di cogenerazione	-
$\eta_{B,th}$	Rendimento termico dell'impianto di cogenerazione	-
$\eta_{B,s}$	Rendimento globale dell'impianto di cogenerazione	-
$\eta_{cw}$	Rendimento di Carnot per la pompa di calore	-
$\eta_e$	Rendimento di emissione	-
$\eta_{el}$	Rendimento riscaldamento elettrico	-
$\eta_d$	Rendimento di distribuzione	-
$\eta_c$	Rendimento di regolazione	-
$\eta_{Ko}$	Rendimento del collettore solare	-
$\eta_S$	fattore di incidenza delle dispersioni del circuito solare	-
$\eta_P$	Rendimento della caldaia	-
$\eta_{Ph}$	Rendimento del modulo solare fotovoltaico	-
$\eta_{Ph\_Anl.}$	Rendimento energetico dell'impianto fotovoltaico	-
$\eta_Z$	Rendimento energetico della distribuzione dell'impianto solare	-
$\eta_u$	Grado di utilizzo degli apporti termici	-
$\eta_V$	Efficienza del sistema di recupero del calore	-
$\eta_{Wü}$	Rendimento della sottostazione del teleriscaldamento	-



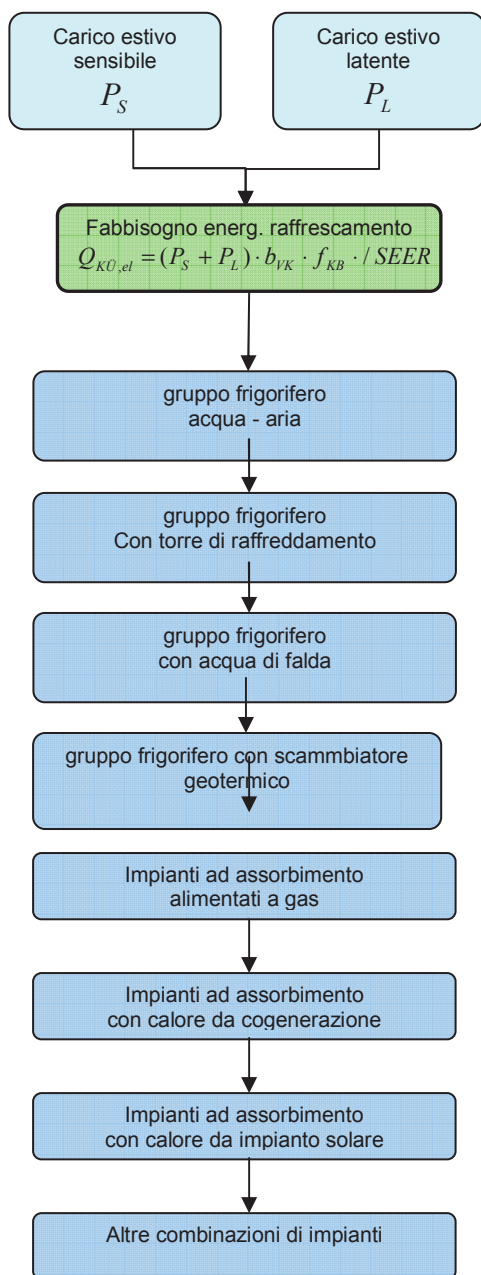
Simbolo	Descrizione	Unità di misura
$\eta_{WW}$	Rendimento energetico dell'acqua calda	-
$\lambda$	Valore della conducibilità termica di un singolo strato dell'elemento strutturale	W/(m·K)
$\mu_B$	Grado di incidenza dell'illuminazione sull'ambiente	-
$\theta_i$	Temperatura interna media	°C
$\theta_e$	Temperatura esterna media mensile	°C
$\theta_{ne}$	Temperatura esterna di progetto	°C
$\theta_K$	Temperatura del collettore solare	°C
$\theta_{cw}, T_{cw}$	Temperatura di mandata per la pompa di calore	°C, K
$\rho_a$	Densità dell'aria	kg/m <sup>3</sup>
$\tau$	Costante tempo	h
$\psi_B$	Trasmittanza termica lineica del ponte termico dei balconi sporgenti	W/(m·K)
$\psi_g$	Trasmittanza termica lineica del ponte termico tra telaio e vetro	W/(m·K)

### 3 Struttura generale del calcolo

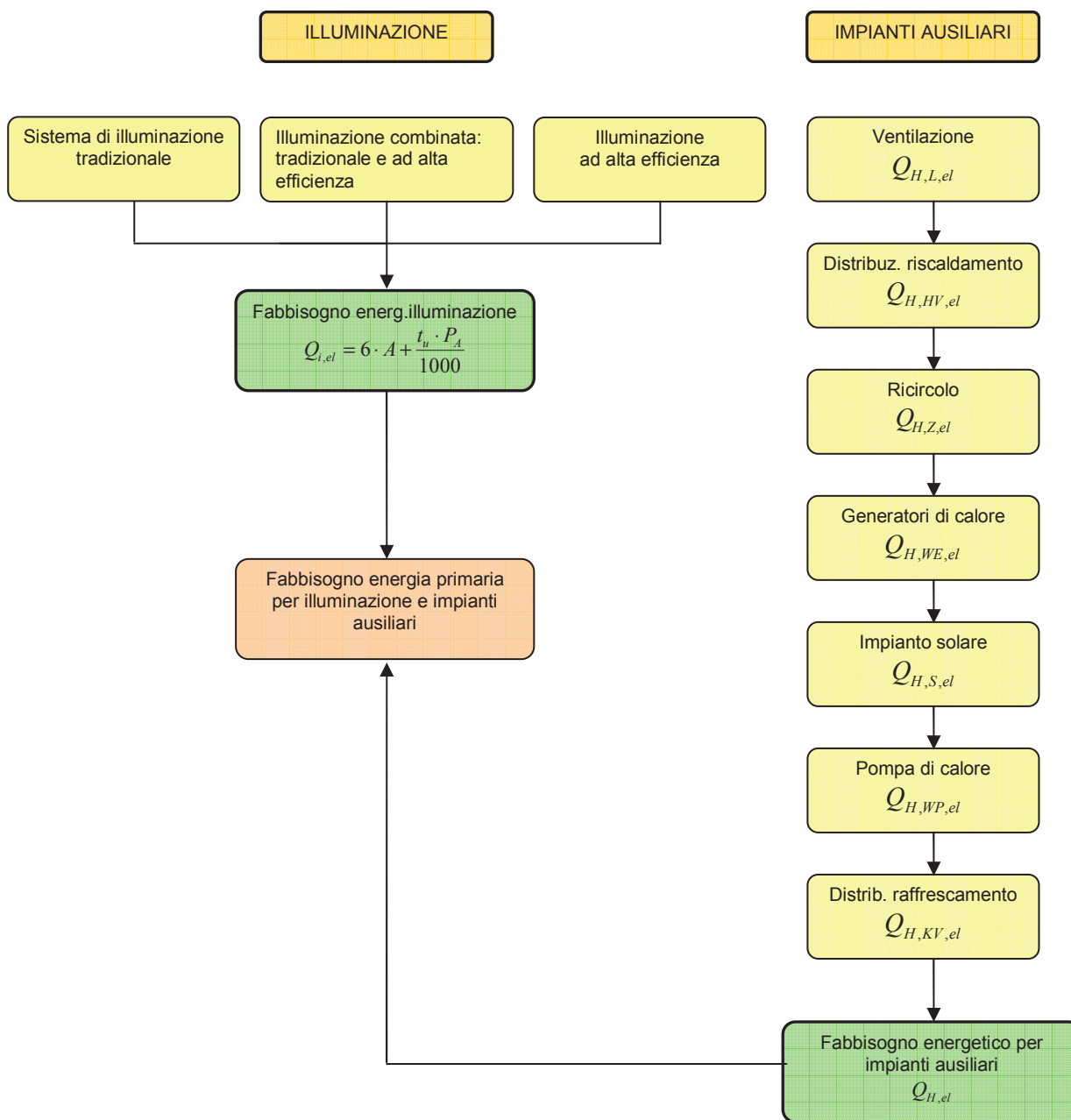
Schema: Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, il condizionamento dell'aria negli ambienti e per la produzione di acqua calda.



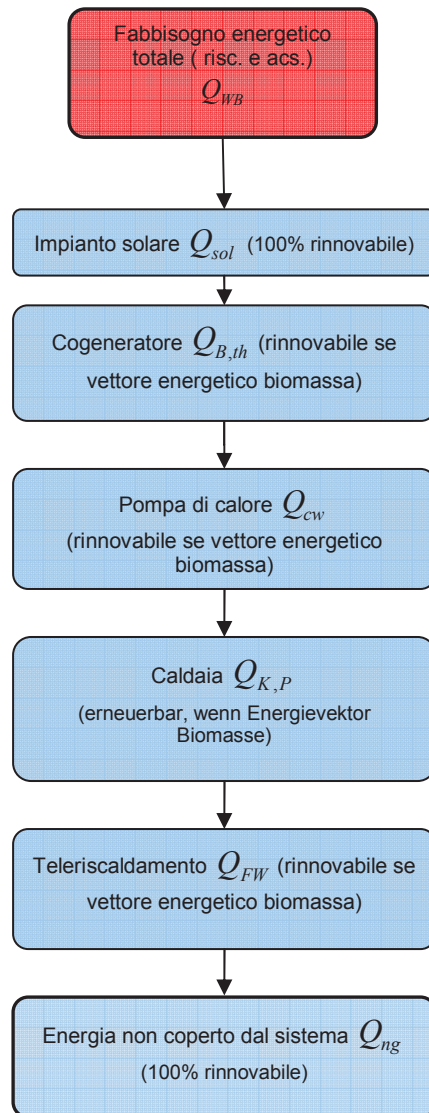
Schema: Fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento



Schema: Fabbisogno di energia primaria per l'illuminazione e gli impianti ausiliari  $Q_{H,L,el}$



Schema: Fabbisogno di energia di fonti rinnovabili



## 4 Calcolo del fabbisogno di riscaldamento

### 4.1 Dati dell'edificio

#### *Dati climatici*

Per determinare il fabbisogno di calore é necessario consultare i dati climatici relativi ai singoli comuni:

- Gradi giorno mensili  $HGT$
- Temperatura esterna di progetto  $\theta_{ne}$
- Temperatura esterna media mensile  $\theta_e$
- Irradiazione globale media mensile su una superficie orizzontale  $G$

Qualora ci fosse una differenza di altitudine di 100m (verso l'alto o verso il basso) tra il terreno del vostro edificio e il Municipio del comune in questione, sará necessario applicare le seguenti correzioni:

$HGT \pm 3\%$  per  $\pm 100$  m di dislivello rispetto al municipio del comune

$\theta_{ne} \pm 0,5$  K per  $\mp 100$  m di dislivello rispetto al municipio del comune

Se i dati climatici del vostro Comune non sono indicati, prendete come riferimento quelli relativi ad una localitá limitrofa, avente caratteristiche e posizione simili.

Per il calcolo del fabbisogno di acqua calda nel caso di strutture alberghiere, é determinante il dato  $f_H$  relativo all'utilizzo medio mensile dei letti della struttura.

#### *Temperatura interna*

Come temperatura interna media  $\theta_i$  negli edifici abitativi si considera di norma i 20°C.

#### *Volimi e superfici riscaldate*

Per il calcolo sono determinanti i dati di ciascun piano relativi alla superficie netta riscaldata, superficie lorda riscaldata, il volume netto ventilato e il volume lordo dell'edificio riscaldato.

Il volume netto ventilato  $V_N$  può essere calcolato a scelta come segue:

- Misurando tutti gli ambienti riscaldati dell'edificio
- Applicando il procedimento semplificato descritto di seguito

$$V_N = n_V \cdot V_B \dots \text{ in m}^3(1)$$

Per quanto riguarda  $n_V$  si assumono i valori a seconda del tipo di costruzione:

Tipo di costruzione	$n_V$
Leggera	0,80
Media legno massiccio	0,77
Media	0,75
Pesante	0,70

In alcuni edifici come ad esempio uffici, scuole e asili o strutture alberghiere si tende per motivi architettonici a realizzare ambienti particolarmente alti. Per il calcolo in questi casi specifici non é sensato tenere conto del volume complessivo, ma si può applicare la versione semplificata, che viene calcolata automaticamente:

$$NGF_B \cdot 3,0m < V_N \rightarrow V_N = NGF_B \cdot 3,0m \dots \text{ in m}^3 \quad (2)$$

Il dato  $NGF_B$  della superficie riscaldata netta per piano é il dato di riferimento per il calcolo del fabbisogno di calore di ogni piano.

Il  $NGF_B$  può essere calcolato a scelta come segue:

- a) Misurando la superficie netta di tutti gli ambienti riscaldati dell'edificio
- b) Applicando il procedimento semplificato descritto di seguito

$$NGF_B = n_B \cdot BGF_B \dots \text{ in m}^2 \quad (3)$$

Per quanto riguarda  $n_B$  si assumono i valori a seconda del tipo di costruzione:

Tipo di costruzione	$n_B$
Leggera	0,85
Media legno massiccio	0,84
Media	0,83
Pesante	0,82

### *Rapporto superfici – volume di un edificio*

Il rapporto tra la superficie  $A_B$  dell' involucro dell'edificio che riveste il volume lordo riscaldato e il volume lordo riscaldato  $V_B$ , in breve rapporto  $A/V$ , è un dato per la valutazione della compattezza di un edificio, e viene calcolato come segue:

$$\frac{A}{V} = \frac{A_B}{V_B} \text{ in 1/m} \quad (4)$$

## 4.2 Fabbisogno di riscaldamento

Il fabbisogno di riscaldamento che si determina attraverso il calcolo è la quantità di calore che deve essere apportata nell'arco di un mese negli ambienti dell'edificio, affinché possa mantenersi costante la temperatura interna richiesta.

Il fabbisogno di riscaldamento  $Q_h$  si ricava dal bilancio annuale come segue:

$$Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta_u \cdot (Q_i + Q_s) \dots \dots \text{ in kWh/a (5)}$$

### *Gradi giorno*

Dai dati climatici in nostro possesso possiamo ricavare i gradi giorno e la temperatura media esterna per ogni mese. Pertanto con il seguente calcolo si possono determinare i gradi giorno relativi al singolo mese:

$$HGT = HT \cdot (\theta_i - \theta_e) \dots \dots \text{ in Kd (6)}$$

### *Zone di temperatura*

Il procedimento di calcolo si riferisce a edifici che vengono comunemente riscaldati in modo uniforme, ossia in cui la temperatura interna nelle diverse zone non differisce per oltre 4°C. Nel caso in cui ci fossero differenze maggiori, è consigliabile dividere l'edificio in due o più zone di temperatura, per ciascuna delle quali si dovrà definire un bilancio termico proprio; alla fine i risultati relativi alle singole zone devono essere sommati. Per quanto riguarda il calcolo necessario per conseguire il certificato CasaClima si ricorrerà ad una procedura semplificata, con un'unica zona di temperatura.

### *Riscaldamento parziale e riduzione nelle ore notturne*

Nei calcoli per il conseguimento del certificato CasaClima non si tiene conto di eventuali riduzioni determinate da riscaldamento parziale degli ambienti o dall'abbassamento di temperatura nelle ore notturne.



### 4.3 Perdite di calore per trasmissione

Le perdite mensili di calore per trasmissione  $Q_T$  dovute alla conduzione termica degli elementi costruttivi e alla convezione termica delle superfici si calcolano come segue:

$$Q_T = 0,024 \cdot L_T \cdot HGT \quad \dots \text{ in kWh/M (7)}$$

*coefficiente globale di scambio termico dell'involucro dell'edificio*

Il valore del coefficiente globale di scambio termico  $L_T$  si calcola sommando i valori di ogni elemento costruttivo dell'involucro dell'edificio, tenendo conto anche delle alterazioni dovute ai ponti termici:

$$L_T = L_e + L_u + L_g + L_\psi + L_\chi \quad \dots \text{ in W/K} \quad (8)$$

*coefficiente globale di scambio termico per gli elementi costruttivi*

Il calcolo dei valori del coefficiente globale di scambio termico per gli elementi costruttivi  $L_e$ ,  $L_u$  e  $L_g$  viene semplificato come segue:

$$L_e + L_u + L_g = \sum_i f_i \cdot U_i \cdot A_i \quad \dots \quad 9$$

Nella tabella 1 si trovano i fattori di correzione della temperatura  $f_i$ .

*coefficiente globale di scambio termico dovuto a ponti termici*

Generalmente i ponti termici si trovano tra il muro esterno e il solaio dell'ultimo piano, nell'intradosso delle finestre (architrave, parti laterali, parapetto) ed in prossimità del collegamento tra muro esterno e solaio dei piani.

Per il calcolo dei coefficienti globale di scambio termico  $L_\psi$  e  $L_\chi$  dovuti a ponti termici, si procede con il procedimento semplificato:

$$L_\psi + L_\chi = 0,2 \cdot \left( 0,75 - \frac{L_e + L_u + L_g}{A_B} \right) \cdot (L_e + L_u + L_g) + \sum_i \psi_{B,i} \cdot l_{B,i} \quad \dots \text{ in W/K} \quad (10)$$

I balconi molto sporgenti creano una dispersione di calore particolarmente elevata e vanno pertanto analizzati separatamente applicando un particolare coefficiente di trasmissione di calore, rapportato alla sporgenza, e la lunghezza della sporgenza  $l_B$ .

*Coefficiente di trasmissione dell'elemento i*

Il coefficiente di trasmissione  $U_i$  indica la quantità di calore che viene scambiata nell'unità di tempo attraverso 1 m<sup>2</sup> dell'elemento strutturale  $i$  con una differenza di temperatura tra interno ed esterno pari ad 1 K. Questo coefficiente si calcola come segue:

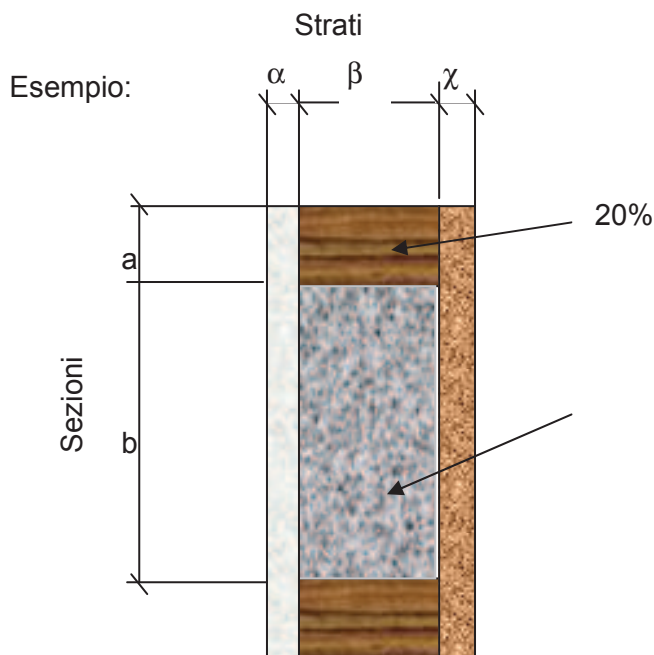
$$U_i = \frac{1}{R_{si} + \sum_m \frac{S_m}{\lambda_m} + R_{se}} \quad \dots \text{ in W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (11)$$

Per i dati riguardanti la resistenza termica superficiale  $R_{si}$  e  $R_{se}$  nonché la somma dei due, si applicano i valori indicati nella Tabella 1. Per quanto riguarda il valore della conducibilità termica  $\lambda$  bisogna far riferimento alla documentazione tecnica relativa all'elemento, oppure deve essere documentata mediante un esame tecnico.

La resistenza termica totale di un elemento strutturale costituito di strati non omogenei tra loro, si determina calcolando la media aritmetica dei limiti superiore ed inferiore della resistenza

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} \dots \text{in } (m^2 \cdot K)/W \quad (12)$$

Dove  $R_T'$  è il limite superiore tra i valori di resistenza termica mentre  $R_T''$  è il limite inferiore. Il calcolo dei valori limite di resistenza termica si calcola dividendo l'elemento strutturale in segmenti e sezioni, in modo tale che ciascuna di queste parti abbia caratteristiche termiche uguali (vedi figura).



Ciascuna delle sezioni  $m$  ( $a, b, \dots$ ) perpendicolari rispetto alla superficie dell'elemento strutturale ha una superficie parziale detta  $f_m$ . Ogniuno degli strati  $j$  ( $\alpha, \beta, \gamma \dots$ ) parallelo alla superficie dell'elemento strutturale ha uno spessore che chiameremo  $s_j$ . Ciascuna delle parti  $m, j$  avrà conducibilità termica  $\lambda_{mj}$ , spessore  $s_j$ , superficie parziale  $f_m$  e resistenza alla trasmissione di calore  $R_{mj}$ . La superficie parziale relativa ad una sezione è una parte della superficie complessiva.

Ne consegue che:

$$f_a + f_b + \dots + f_n = 1 \quad (13)$$

Il limite massimo di resistenza alla trasmissione di calore quindi si calcola con la seguente equazione:

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}} \dots \text{in } W/(m^2 \cdot K) \quad (14)$$

Dove:

$R_{Ta}$ ,  $R_{Tb}$ , ...  $R_{Tn}$  sono i rispettivi valori di resistenza termica totale di ciascuna sezione, calcolati secondo la formula generale per il calcolo delle resistenze calore termiche totali comprensive di resistenza superficiale.  $f_a$ ,  $f_b$ , ...  $f_n$  sono superficie aree relative di una qualsiasi sezione.

Il limite minimo di resistenza termica si calcola ricavando dalla seguente formula una resistenza termica per ciascuno degli strati non omogenei dal punto di vista del comportamento termico:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_n}{R_{nj}} \dots \text{ in } W/(m^2 \cdot K) \quad (15)$$

Il limite inferiore si otterrà quindi sommando i valori di resistenza termica di tutti gli strati e la resistenza superficiale:

$$R_T'' = R_{si} + R_{\alpha} + R_{\beta} + \dots + R_n + R_{se} \dots \text{ in } (m^2 \cdot K)/W \quad (16)$$

La trasmittanza  $U$  è pari all'inverso del valore  $R_T$

$$U_i = \frac{1}{R_T} \dots \text{ in } W/(m^2 \cdot K) \quad (17)$$

Questi calcoli non comprendono i casi particolari e le correzioni specificamente analizzate nella normativa europea UNI EN ISO 6946.

Possiamo stimare il margine di errore con la seguente formula:

$$E_{u,i} = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} \dots \text{ in } \% \quad (18)$$

### **Coefficiente di trasmissione delle finestre**

Il coefficiente di trasmissione di calore  $U_w$  si può ricavare a scelta in uno dei seguenti modi:

- a) Tramite il calcolo

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g}{A_g + A_f} \dots \text{ in } W/(m^2 \cdot K) \quad (19)$$

Qualora non fossero disponibili i dati specifici relativi al prodotto, si possono rilevare i seguenti dati di calcolo dalle tabelle: per i coefficienti di trasmissione del calore  $U_g$  si veda la tabella 2, per il coefficiente di trasmissione del calore  $U_f$  le tabelle 3,4 oppure 5 a seconda del tipo di telaio ed infine per il coefficiente di correzione  $\psi_g$  si veda la tabella 6.

- b) Esaminando una finestra avente le stesse caratteristiche strutturali e le stesse dimensioni.

### **Superfici vetrate e superfici del telaio**

Le superfici vetrate  $A_g$  e le superfici del telaio  $A_f$  si ricavano dalle misurazioni architettoniche, dallo spessore del telaio della finestra e dal numero di battenti.

### **Lunghezza perimetrale del telaio della finestra**

Si considera come lunghezza perimetrale del telaio di una finestra  $l_g$  la somma dei perimetri visibili dell'elemento finestrato. Si prende come riferimento il perimetro maggiore, che può essere sia quello verso l'interno che quello verso l'esterno. Questo dato viene calcolato singolarmente per ogni finestra.

#### 4.4 Perdite di calore per ventilazione

Le perdite mensili di calore per ventilazione  $Q_V$  causate dal ricambio tra aria calda degli ambienti ed aria fredda esterna si calcolano come segue:

$$Q_V = 0,024 \cdot L_V \cdot HGT \dots \text{ in kWh/M} \quad (20)$$

##### *Coefficiente specifico di ventilazione dell'involucro dell'edificio*

Il coefficiente specifico di ventilazione  $L_V$  si calcola come segue:

$$L_V = \rho_a \cdot c_a \cdot \sum_i V_n^{(i)} \cdot n^{(i)} \dots \text{ in W/K} \quad (21)$$

La capacità termica dell'aria da applicare è la seguente:

$$\rho_a \cdot c_a = 0,33 \dots \text{ in Wh/(m}^3 \cdot \text{K)} \quad (22)$$

##### *Indice di ricambio dell'aria*

Il ricambio d'aria dipende molto dal tipo di utilizzo degli ambienti; per il calcolo si prende in considerazione un tipo di utilizzo standard.

L'indice  $n$  di ricambio dell'aria da applicare è il seguente:

$$n = 0,5 \dots \text{ in 1/h} \quad (23)$$

Nel caso in cui negli edifici abitativi (uni- bi- o plurifamiliari) le cucine funzionassero a gas è necessario elevare l'indice di ricambio dell'aria

$$n_K = 0,55 \dots \text{ in 1/h} \quad (24)$$

In alcuni casi, per motivi igienici, si possono applicare indici di ricambio d'aria più elevati.

##### *Sistemi meccanici di ventilazione per edifici abitativi con recupero di calore*

È possibile definire solo impianti di ventilazione con caratteristiche di funzionamento continuo.

Si applica pertanto la seguente formula:

$$n^{(1)} = \frac{q_{V,f}^{(1)}}{V_N^{(1)}} \cdot (1 - \eta_v) + n_x \dots \text{ in 1/h} \quad (25)$$

Per l'efficienza  $\eta_v$  occorre applicare il valore nominale che deve essere definito in base ad una perizia termotecnica. Delle perdite di calore per ventilazione provocate da punti dell'edificio che non sono a tenuta d'aria e che causano corrente d'aria e spifferi, si tiene conto applicando un indice di ricambio dell'aria implementato  $n_x$ :

$$n_x = 0,1 \dots \text{ in 1/h} \quad (26)$$

Se le cucine funzionano a gas, il valore  $n_x$  da applicare si eleva a 0,25 1/h.

Nel caso in cui il l'indice di ricambio dell'aria ottenuto per mezzo di sistemi meccanici  $\frac{q_{V,f}^{(1)}}{V_N^{(1)}}$

risultasse inferiore a  $0,4 \frac{1}{h}$ , si presume una ventilazione attraverso le finestre, che garantisca il

ricambio d'aria minimo indispensabile per motivi igienici, ossia  $0,5 \frac{1}{h}$ :

$$n^{(1)} = 0,4 - \frac{q_{V,f}^{(1)}}{V_N^{(1)}} \cdot \eta_V^{(1)} + n_x \dots \text{ in } 1/h \quad (27)$$

### **Sistemi meccanici di ventilazione per tutti i tipi di edifici - diversi dagli edifici abitativi- con recupero di calore**

Si possono definire fino a 5 impianti di ventilazione.

L'indice  $n$  di ricambio d'aria di qualsiasi impianto di ventilazione con recupero di calore dall'aria di ripresa e riscaldamento dell'aria di mandata deve essere calcolato quando l'impianto è in funzione, secondo la seguente formula:

$$n^{(i)} = \frac{t_B^{(i)}}{24} \cdot \frac{q_{V,f}^{(i)}}{V_N^{(i)}} \cdot (1 - \eta_V^{(i)}) + n_x \dots \text{ in } 1/h \quad (28)$$

Per il grado di utilizzo  $\eta_V$  occorre applicare il valore nominale, che deve essere definito in base ad una perizia termotecnica. Delle perdite di calore per ventilazione provocate da punti dell'edificio che non sono a tenuta d'aria e che causano ventilazione e spifferi, si tiene conto applicando un indice di ricambio d'aria implementato  $n_x$ :

$$n_x = 0,1 \dots \text{ in } 1/h \quad (29)$$

Nel caso in cui non fossero disponibili i dati relativi alla portata volumetrica d'aria della ventilazione meccanica (dell'impianto di ventilazione), è possibile calcolarli nel seguente modo:

$$q_{V,f} = 0,8 \cdot V_N \dots \text{ in } m^3/h \quad (30)$$

Se l'impianto non è in funzione, si calcola un ricambio d'aria  $n^{(i)} = n_x$ . In questo caso si suppone che l'ambiente non venga utilizzato, e pertanto non è necessario rispettare il minimo ricambio d'aria pari a 0,5.

### **Volume rimanente**

Il volume netto riscaldato rimanente, che non viene ventilato meccanicamente tramite l'impianto di ventilazione, si calcola come segue:

$$V_n^{(4)} = V_n - \sum_{i=1}^3 V_n^{(i)} \dots \text{ in } m^3 \quad (31)$$

Come indice di ricambio d'aria si assume il valore minimo:

$$n^{(4)} = 0,5 \dots \text{ in } 1/h \quad (32)$$

## 4.5 Apporti termici interni

I guadagni di calore per carichi interni  $Q_i$  causati dal funzionamento degli elettrodomestici oppure dall'illuminazione artificiale o dal calore emanato dalle persone, si calcola nel seguente modo:

$$Q_i = 0,024 \cdot q_i \cdot NGF_B \cdot HT \dots \text{ in kWh/M} \quad (33)$$

Tuttavia gli apporti termici per carichi interni non possono superare le dispersioni di calore per trasmissione o ventilazione..

$$Q_i \leq \frac{Q_T - Q_V}{\eta_u} \dots \text{ in kWh/M} \quad (34)$$

Come dato medio di potenza termica degli apporti interni di calore  $q_i$  si applicano i seguenti valori:

Tipo di utilizzo dell'edificio:	$q_i$ [W/m <sup>2</sup> ]
Edificio per uffici	4,5
Edificio uni- o bifamiliare	3,5
Condominio	3,5
Edificio promiscuo, uffici e abitazioni	4,0
Scuola, Asilo	3,0
Albergo	4,0
Ospedale	6,0
Impianto sportivo	3,5
Altri uffici pubblici	3,5

## 4.6 Apporti termici solari

Gli apporti termici solari  $Q_s$ , che si guadagnano per trasmissione dalle radiazioni solari attraverso gli elementi trasparenti, si calcolano come segue:

$$Q_s = \sum_j I_j \cdot (\sum A_g \cdot f_{sh} \cdot g_w)_j \dots \dots \text{ in kWh/M} \quad (35)$$

Tuttavia gli apporti termici solari non possono superare il fabbisogno di calore:

$$Q_s \leq \frac{Q_T + Q_V}{\eta_u} - Q_i \dots \dots \text{ in kWh/M} \quad (36)$$

### *Somma di irraggiamento solare in un mese con l'orientamento j*

La somma degli irraggiamenti solari per ciascun mese si calcola in base alla media mensile dell'irradiazione solare totale su superficie orizzontale:

$$I_j = G \cdot \frac{f_N}{f_S} \cdot HT \dots \dots \text{ in kWh/(m}^2 \cdot \text{M)} \quad (37)$$

I valori dei fattori di correzione  $f_N$  e  $f_S$  sono riportati nelle tabelle 7 e 8.

L'orientamento  $j$  (Azimut e inclinazione) si ottiene tramite una procedura semplificata:

Per orientamento  $j$  si intende una deviazione della verticale rispetto alla superficie della finestra non superiore ai 45° dal relativo punto cardinale. Le finestre sui tetti aventi una inclinazione superiore ai 15° rispetto alla linea orizzontale sono da considerare come finestre su superfici perpendicolari, mentre le finestre con poca inclinazione sono da considerare come superfici trasparenti orizzontali.

### *Fattore di riduzione per ombreggiatura*

I fattori di riduzione a causa dell'ombreggiatura  $f_{sh,j}$  sono indipendenti dalla posizione geografica o dall'ambiente circostante, ma dipendono unicamente dall'orientamento e pertanto vanno assunti i seguenti valori:

Orientamento $j$ :	$f_{sh,j}$
Sud	0,49
Est	0,42
Ovest	0,41
Nord	0,45
Orizzontale	0,72
Sud-Ovest	0,45
Sud-Est	0,455
Nord-Ovest	0,43
Nord-Est	0,435

### *Grado complessivo di trasmittanza solare*

La trasmittanza di energia solare totale  $g$  delle superfici trasparenti è quella parte di energia solare che viene trasmessa all'ambiente per irraggiamento attraverso l'elemento vetrato con incidenza normale e superficie del vetro pulita.

Qualora non fosse disponibile il valore  $g$  relativo al prodotto utilizzato, si può fare riferimento ai dati della tabella 2.

La trasmittanza solare totale utile effettiva, che tiene conto dello sporco sulla superficie della vetrata o dell'incidenza non perfettamente perpendicolare dei raggi solari sulla vetrata si calcola applicando un fattore di correzione pari a 0,9:

$$g_w = 0,9 \cdot g \quad (38)$$

### Giardini d'inverno

Gli apporti termici dovuti ai giardini d'inverno si rilevano calcolando solo quegli apporti termici guadagnati tramite irraggiamento solare, ossia che giungono tramite la vetrata esterna del giardino d'inverno nonché tramite il vetro interno che divide il resto della casa dal giardino d'inverno, direttamente agli ambienti retrostanti. Bisogna inoltre tenere conto di eventuali ombreggi mediante il tetto del giardino d'inverno.

### Isolamento termico trasparente

Gli apporti di calore per isolamento termico trasparente costituiscono dei casi particolari, che devono essere analizzati separatamente e poi aggiunti al calcolo del fabbisogno di calore per il riscaldamento.

## 4.7 Fattore di utilizzo degli apporti di calore

Il grado di utilizzo è un fattore che riduce il dato complessivo degli apporti di calore (per carichi interni e per irraggiamento solare) alla parte effettivamente utilizzabile di questi guadagni, su base mensile. Il grado di utilizzo si calcola come segue:

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (39)$$

Nella tabella sottostante sono indicati i limiti massimi di utilizzo degli apporti di calore  $\eta_u$ :

Tipo di costruzione	$\eta_u$
Leggera e legno leggero	0,9
Media legno massiccio	0,97
Media massiccia	0,98
Pesante	1,0

Come costruzione di tipo leggero si possono considerare:

- Costruzioni in legno senza elementi costruttivi interni massicci
- Costruzioni con controsoffitti e pareti divisorie prevalentemente leggere

Come costruzione di tipo medio si possono considerare:

- Costruzioni con gran parte degli elementi costruttivi sia internamente che esternamente di tipo massiccio, massetti galleggianti e senza controsoffitti;

Come costruzione di tipo pesante si possono considerare:

- Costruzioni con elementi sia interni che esterni di tipo fortemente massiccio (Vecchie costruzioni)



#### 4.8 Rapporto tra apporti termici e perdite di calore

Il rapporto tra guadagno e perdita di calore  $\gamma$  si calcola come segue:

$$\gamma = \frac{Q_s + Q_i}{Q_T + Q_V} \quad (40)$$

#### 4.9 Carico termico specifico

Il carico termico specifico  $P_1$  si ricava dal carico termico dell'edificio calcolato attraverso la seguente relazione:

$$P_1 = \frac{P_{tot}}{NGF_B} \quad \dots \text{ in W/m}^2 \quad (41)$$

Il carico termico dell'edificio si calcola in base alle dispersioni di calore per trasmissione o per ventilazione, tenendo conto anche della temperatura esterna di progetto:

$$P_{tot} = (L_T + L_V) \cdot (\theta_i - \theta_{ne}) \quad \dots \text{ in kW} \quad (42)$$

Il carico termico determinato da questa formula di calcolo non sostituisce i risultati delle dimostrazioni sul carico termico dell'edificio.

#### 4.10 Fabbisogno termico specifico per riscaldamento

Il fabbisogno annuale di calore per il riscaldamento, rapportato alla superficie netta del piano, si calcola come segue:

$$HWB_{NGF} = \frac{Q_h}{NGF_B} \quad \dots \text{ in kWh/(m}^2 \cdot \text{a)} \quad (43)$$

## 5 Determinazione del fabbisogno complessivo di energia

Il calcolo tecnologici del fabbisogno complessivo di energia é il proseguimento del calcolo del fabbisogno di calore.

### 5.1 Fabbisogno complessivo di energia

Il fabbisogno complessivo di energia di un edificio é dato dal fabbisogno totale di riscaldamento energia termica e dal fabbisogno complessivo di energia elettrica. Quest'ultimo comprende anche il fabbisogno per il raffrescamento, l'illuminazione e l'energia ausiliaria.

$$Q_{all} = Q_{WB} + Q_{EL} \dots \text{ in kWh/a}$$

### 5.2 Fabbisogno complessivo di energia termica

Il fabbisogno complessivo di energia termica di un edificio non é dato solo dal fabbisogno di calore per il riscaldamento, ma bisogna tenere conto anche delle perdite di energia degli impianti, del fabbisogno per la produzione di acqua calda sanitaria e del fabbisogno di energia per umidificazione.

Pertanto il calcolo é il seguente:

$$Q_{WB} = \frac{Q_h}{\eta_e \cdot \eta_d \cdot \eta_c} + Q_{TWE} + Q_{u,A} \dots \text{ in kWh/a}$$

#### Rendimenti

Il fabbisogno di calore per il riscaldamento fin qui calcolato é la quantità di energia necessaria per mantenere costante la temperatura all'interno degli ambienti riscaldati. Finora non abbiamo ancora menzionato i vari gradi di rendimento, che permettono – partendo dal dato di energia utile - di risalire all'energia finale.

Tratteremo separatamente il grado di rendimento della produzione  $\eta_p$  in quanto questo dato varia a seconda del tipo di generatore di calore.

#### Rendimento di emissione

Il rendimento di emissione  $\eta_e$  dipende dal tipo di terminale di erogazione installato negli ambienti. I valori sono i seguenti:

Sistema di riscaldamento	$\eta_e$
Riscaldamento a bassa temperatura (riscaldamento a pavimento o a parete)	0,95
Radiatori, termostisce	0,97
Ventilconvettori	0,98
Sistema combinato (riscaldam. a pannelli e riscaldamento ad alta temperatura)	0,96
Riscaldamento ad aria, aerotermini	0,99

## Rendimento di distribuzione

Il rendimento del sistema di distribuzione del calore  $\eta_d$  comprende anche le dispersioni di calore che avvengono nelle tubazioni, per il quale si applica un valore unitario per tutti i tipi di edifici, pari a 0,95.

## Rendimento di regolazione

Anche per quanto riguarda la regolazione si deve fare riferimento ai diversi tipi di sistemi:

Regolazione	$\eta_c$
Regolazione temperatura ambiente	0,94
Regolazione climatica	0,95
Regolazione climatica con sonde temperatura ambiente o valvole termostatiche	0,96
Regolazione climatica con regolazione dei singoli ambienti	0,97

Quando si parla di gradi di rendimento dei sistemi di distribuzione del calore o di regolazione, non si tratta di grandezze misurabili direttamente. Non è possibile fare una divisione netta tra l'edificio, gli impianti, la regolazione e gli utenti.

## 5.3 Produzione di acqua calda

Il calcolo per la copertura del fabbisogno di acqua calda potabile si effettua per l'intero edificio. Questo procedimento comprende sia il riscaldamento dell'acqua potabile che la distribuzione alle singole utenze.

Il fabbisogno di energia finale per la produzione di acqua calda si determina come segue:

$$Q_{TWE} = Q_{WW} + Q_{WW,V} \dots \text{ in kWh/a} \quad (44)$$

### *Fabbisogno di calore per la produzione di acqua calda*

Il fabbisogno di calore per l'acqua calda non si determina applicando un valore standard, ma si calcola tenendo conto del numero di persone e del tipo di utilizzo dell'edificio. Il fabbisogno di acqua calda dipende dal numero di persone  $Pers$ , che abitano nell'edificio o che vi si trovano abitualmente, nonché dal tipo di utilizzo da parte degli utenti).

L'energia necessaria per l'acqua calda si calcola per ogni mese applicando la seguente formula:

$$Q_{WW} = c_{p,w} \cdot Pers \cdot f_H \cdot f_{WW} \cdot \Delta T_{WW} \cdot d \cdot \frac{1}{3600} \dots \text{ in kWh} \quad (45)$$

La capacità termica specifica dell'acqua è la seguente:

$$c_{p,w} = 4,186 \dots \text{ in } \frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (46)$$

La quantità di acqua necessaria è estremamente variabile a seconda del tipo di esigenze degli utenti. Conforme all'utilizzo dell'edificio si calcola la quantità specifica di acqua calda  $f_{WW}$  riportata nella tabella di seguito:

Utilizzo dell'edificio:	$f_{ww}$ [l/Pers·d]
Uffici	10
Abitazione uni- o bifamiliare	50
Condominio	50
Edificio promiscuo, uffici e abitazioni	35
Scuole, Asili	15
Alberghi	150
Ospedali	200
Impianti sportivi	60
Altri uffici pubblici	10

È possibile inserire manualmente il numero di persone; vanno tuttavia rispettati i limiti minimi.

Nel caso di strutture alberghiere e di ospedali, il fattore  $f_H$  rappresenta il grado di utilizzo medio die posti letto; per gli altri utilizzi si assume  $f_H = 1$ ; nel caso di impianti sportivi in base al numero di docce presenti nella struttura.

La differenza di temperatura tra acqua fredda (10°C) ed acqua calda (al prelievo 35°C) si calcola come media per tutto l'anno come sotto riportato:

$$\Delta T_{ww} = 25 \text{ ..... in K} \quad (47)$$

### Dispersioni di calore nell'acqua calda $Q_{ww,v}$

Questo procedimento comprende la produzione e distribuzione dell'acqua calda fino al momento del prelievo da parte dell'utente. Nel calcolo si tiene conto delle dispersioni che vi sono durante tutte queste fasi. In questo procedimento si assume pari a 0 la dispersione di calore che si ha al momento dell'erogazione dell'acqua potabile. Vanno invece considerati i valori delle dispersioni nella distribuzione, nel ricircolo e nell'accumulo dell'acqua calda.

Di fondamentale importanza ai fini di questo calcolo è sapere se l'approvvigionamento di acqua calda avviene da un sistema centralizzato per l'intero edificio o in maniera autonoma (decentralizzato).

#### Sistema di produzione d'acqua calda centralizzato per l'edificio:

La perdita di calore del sistema di distribuzione dell'acqua calda si definisce come grandezza riferita alla superficie, variabile a seconda della superficie netta del piano e della lunghezza delle tubazioni del ricircolo.

Dispersioni nei sistemi di distribuzione dell'acqua calda e di ricircolo:

Superficie netta del piano $NGF_B$	$q_{TW,v}$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	
	con ricircolo	senza ricircolo

100	6,7	2,8
150	5,4	2,3
200	4,8	2,1
300	4,2	1,8
500	3,8	1,7
750	3,6	
1.000	3,6	
1.500	3,5	
2.500	3,5	
5.000	3,5	
10.000	3,5	

Le dispersioni di calore nell'accumulo si determinano in base al tipo di generatore di calore secondo le seguenti tabelle:

1. Resistenza elettrica: non presente o funzionamento estivo

Superficie netta del piano $NGF_B$	$q_{TW,s}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
100	6,5
150	4,8
200	3,8
300	2,8
500	1,9
750	1,4
1.000	1,1
1.500	1,0
2.500	0,9
5.000	0,7
10.000	0,5

A seconda della superficie netta del piano si applica il valore  $q_{TW,s}$ , lo si somma alle dispersioni del sistema di distribuzione e ricircolo  $q_{TW,v}$  ed infine si moltiplica il tutto per la superficie netta effettiva del piano.

$$Q_{WW,y} = (q_{TW,v} + q_{TW,s}) \cdot NGF_B \text{ [kWh/a]} \quad (48)$$

2. Se il riscaldamento dell'acqua potabile avviene tramite un impianto solare, serve conoscere la superficie netta per collettore e il numero di collettori (dati reperibili dal foglio tecnico).

Il volume dell'accumulatore si calcola come segue:

$$V_{SP} = A_N \cdot n_K \cdot 80 \text{ [l]} \quad (49)$$

Una volta calcolato  $V_{SP}$  si determina la perdita  $Q_{SP}$  dalla seguente tabella:

Volume accumulato $V_{SP}$ [l]	$Q_{SP}$ [W]	$t_{SP}$ [h/a]
-----------------------------------	-----------------	-------------------

25	20	8.760
50	29	8.760
75	37	8.760
100	43	8.760
150	54	8.760
200	64	8.760
300	80	8.760
500	108	8.760
750	137	8.760
1.000	162	8.760
1.500	207	8.760
2.000	247	8.760

Le dispersioni di calore dell'acqua calda si determinano applicando la seguente formula:

$$Q_{WW,Y} = \frac{Q_{SP} \cdot t_{SP}}{1000} + q_{TW,Y} \cdot NGF_B \text{ [kWh/a]} \quad (50)$$

### 3. Resistenza elettrica in funzione per tutto l'anno

Se la resistenza elettrica é programmata per funzionare tutto l'anno, il calcolo da eseguire è il seguente:

$$Q_{WW,Y} = \frac{Q_{WW}}{0,98} + (q_{TW,Y} + q_{TW,S}) \cdot NGF_B \quad (51)$$

#### Sistema decentralizzato per la produzione di acqua calda:

Si prendono in considerazione i boiler elettrici con accumulo. La distribuzione nella maggior parte dei casi avviene tramite delle tubazioni dirette e le relative dispersioni vengono prese in considerazione nel calcolo. In linea generale si suppone che in questo caso non ci siano tubazioni di ricircolo.

Dispersioni nella distribuzione dell'acqua:

Superficie netta del piano $NGF_B$	$q_{TW,V}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
100	0,83
150	0,83
200	0,83
300	0,83
500	0,83
750	0,83
1.000	0,83
1.500	0,83
2.500	0,83
5.000	0,83
10.000	0,83

Le dispersioni termiche nell'accumulo si determinano come segue:

Superficie netta del piano $NGF_B$	$q_{TW,S}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
100	1,5
150	1,5
200	1,5
300	1,5
500	1,5
750	1,5
1.000	1,5
1.500	1,5
2.500	1,5
5.000	1,5
10.000	1,5

A seconda della superficie netta del piano si sommano  $q_{TW,S}$  e  $q_{TW,V}$  e si moltiplicano infine per la superficie netta effettiva del piano.

$$Q_{WW,V} = \frac{Q_{WW}}{0,98} + (q_{TW,V} + q_{TW,S}) \cdot NGF_B \quad (52)$$

## 5.4 Umidificazione

Generalmente l'umidificazione negli edifici avviene tramite un impianto di ventilazione. Nel calcolo relativo al fabbisogno di calore per il riscaldamento si tiene conto solo dell'energia termica sensibile; l'energia termica latente – ossia quella necessaria per la generazione del vapore – si deve calcolare tramite la differenza di entalpia.

$$Q_u^{(i)} = q_{Vf}^{(i)} \cdot t_B^{(i)} \cdot \rho_a \cdot (h_i^u - h_i) \cdot \frac{1}{3600} \cdot d \dots \text{ in kWh/M} \quad (53)$$

L'entalpia dell'aria esterna dipende dalla temperatura  $\vartheta_e$  e dalla quantità di acqua in essa contenuta  $x_e$  e si calcola con la seguente formula empirica:

$$h_e = 1,0 \cdot \theta_e + x_e \cdot (2501 + 1,86 \cdot \theta_e) \dots \text{ in kJ/kg} \quad (54)$$

La quantità di acqua contenuta nell'aria esterna (umidità assoluta) si determina con il seguente

$$\text{calcolo: } x_e = 0,622 \cdot \frac{\varphi_e \cdot p_s}{p_{ges} - \varphi_e \cdot p_s} \dots \text{ in kg acqua /kg aria} \quad (55)$$

Per quanto riguarda la pressione dell'aria si applica il valore fisso  $p_{ges} = 1000$  mbar.

Per i comuni dell'Alto Adige l'umidità relativa dell'aria esterna  $\varphi_e$  in % è la seguente:

Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
54,7	58,5	56,2	56,7	63,9	63,6	59,7	62,3	64,2	70,3	74,1	55,6

La pressione di saturazione del vapore si determina con l'aiuto della tabella 10 in funzione della temperatura. I valori intermedi si calcolano per interpolazione.

Analogamente al calcolo descritto sopra (entalpia dell'aria esterna) si calcola l'entalpia dell'aria ambiente  $h_i = 1,0 \cdot \theta_i + x_e \cdot (2501 + 1,86 \cdot \vartheta_i)$  con una temperatura  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$  e umidità assoluta pari all'umidità dell'aria esterna.

Allo stesso modo si calcola l'entalpia dell'aria ambiente con umidificazione pari a  $h_i^u = 38,67$  in kJ/kg, corrispondente ad una temperatura interna di  $20^\circ\text{C}$  e umidità relativa 50%; l'umidità relativa dell'aria deve essere come minimo pari al 35%.



## 5.5 Impianto solare

Il rendimento di un impianto solare si calcola come segue:

$$Q_{sol} = G \cdot \frac{f_N \cdot f_A}{f_S} \cdot A_N \cdot n_K \cdot \eta_K \cdot \eta_S \cdot d \quad \dots \text{ in kWh/M} \quad (56)$$

Come resa dell'impianto solare si intende il calore solare utilizzabile, cioè il calore che – tolte le dispersioni termiche dell'impianto – può essere effettivamente immagazzinato dall'accumulo.

Il dato di irradiazione solare media giornaliera per ogni mese su una superficie orizzontale  $G$  si può trarre dai dati climatici. Per il coefficiente di correzione  $f_N$  per l'inclinazione rispetto all'orizzonte ed il coefficiente di correzione  $f_S$  per lo scostamento dal sud si fa riferimento alle tabelle 7 e 8.

Come  $A_N$  si definisce la superficie assorbente netta nel collettore (superficie di apertura),...

Il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura per sporcamento della superficie  $f_A$  e il grado di efficienza (incidenza) delle dispersioni  $\eta_S$  (ad esempio dispersioni di calore del circuito solare e dell'accumulo) assumono il valore di seguito indicato:

$$f_A = 0,9$$

$$\eta_S = 0,8$$

Il grado di efficienza del collettore dipende dalla temperatura esterna, e va calcolato separatamente per ogni mese:

$$\eta_K = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{\theta_K - \theta_e}{G_K} - a_2 \cdot \frac{(\theta_K - \theta_e)^2}{G_K} \quad (57)$$

I parametri  $\eta_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$  sono dati sperimentali, che si trovano sul certificato (verbale) di collaudo del singolo collettore.

Nel calcolo del rendimento come temperatura del collettore solare si assume:

$$\theta_K = 50 \quad \dots \text{ in } ^\circ\text{C} \quad (58)$$

Come irradianza globale si assume:

$$G_K = 800 \quad \dots \text{ in W/m}^2 \quad (59)$$

Qualora non dei fossero disponibili dati di collaudo precisi riguardanti il collettore, si possono applicare, per semplificare, i seguenti efficienza valori del rendimento:

Collettore piano	0,55
Collettore tubolare sotto vuoto	0,70

L'impianto solare può essere utilizzato, a scelta, o solo per la produzione di acqua calda, oppure anche per il riscaldamento. L'energia solare effettivamente utilizzabile dipende, in entrambi i casi, dal fabbisogno, che a sua volta dipende dall'utilizzo cui è adibito secondo le limitazioni qui sotto riportate:

- a. solo acqua calda sanitaria:

$$Q_{sol} \leq Q_{WW} \quad \dots \text{ in kWh/M} \quad (60)$$

- b. anche per riscaldamento:

$$Q_{sol} \leq Q_{all} \quad \dots \text{ in kWh/M} \quad (61)$$

Il grado di copertura si definisce a seconda dell'utilizzo:

- a. solo acqua calda sanitaria:

$$\frac{\sum Q_{sol}}{\sum Q_{WW}} \quad (62)$$

- b. anche per riscaldamento:

$$\frac{\sum Q_{sol}}{\sum Q_{all}} \quad (63)$$

Il grado di utilizzo si definisce come rapporto tra l'energia solare effettivamente utilizzabile e la massima quantità possibile di energia solare.

## 5.6 Resistenze elettriche per produzione acqua calda

Il fabbisogno di energia elettrica per la produzione di acqua calda con resistenza elettrica si calcola come segue:

1. senza resistenza

$$Q_{WW,el} = 0 \quad \dots \text{ in kWh/M} \quad (64)$$

2. funzionamento tutto l'anno: l'acqua calda viene prodotta esclusivamente e per tutto l'anno elettricamente ed eventualmente con l'aiuto di un impianto solare

$$Q_{WW,el} = Q_{TWE} \quad \dots \text{ in kWh/M} \quad (65)$$

3. funzionamento estivo: al di fuori del periodo di riscaldamento l'acqua calda viene prodotta elettricamente oppure con l'aiuto dell'impianto solare.

$$Q_{WW,el} = Q_{TWE} \cdot \left(1 - \frac{HT}{d}\right) \quad \dots \text{ in kWh/M} \quad (66)$$

La quantità massima di energia apportata ha come limite il fabbisogno; anche gli eventuali apporti di calore dati dall'impianto solare vengono inseriti nel calcolo allo stesso modo.

## 5.7 Impianto di ventilazione

L'energia complessivamente da fornire all'impianto di ventilazione é la somma di calore sensibile e calore latente di ciascun impianto di ventilazione.

$$Q_{ven} = \sum_i (Q_{ven,s}^{(i)} + Q_{ven,l}^{(i)}) \dots \text{ in kWh/M} \quad (67)$$

La quantità di energia immessa in ciascun impianto di ventilazione dipende dalle condizioni di funzionamento::

1. solo recupero di calore:

$$Q_{ven,s}^{(i)} = 0 \dots \text{ in kWh/M} \quad (68)$$

2. immissione d'aria isoterma:

$$Q_{ven,s}^{(i)} = Q_V \cdot \frac{1}{\eta_e \cdot \eta_d \cdot \eta_c} \dots \text{ in kWh/M} \quad (69)$$

3. Riscaldamento solo con aria:

$$Q_{ven,s}^{(i)} = (Q_h + Q_V) \cdot \frac{1}{\eta_e \cdot \eta_d \cdot \eta_c} \dots \text{ in kWh/M} \quad (70)$$

4. Picchi di riscaldamento ad aria:

$$Q_{ven,s}^{(i)} = 0,25 \cdot Q_h \cdot \frac{1}{\eta_e \cdot \eta_d \cdot \eta_c} \dots \text{ in kWh/M} \quad (71)$$

L'energia termica latente necessaria per l'impianto di ventilazione corrisponde all'energia calcolata per quanto riguarda l'umidificazione.

$$Q_{ven,l}^{(i)} = Q_u^{(i)} \dots \text{ in kWh/M} \quad (72)$$

In questo capitolo si considera solamente l'energia elettrica fornita all'impianto di ventilazione. Ogni altro apporto di calore immesso da altri tipi di generatori di calore, verrà valutato nei capitoli seguenti.

Qualora sia prevista un'umidificazione con vapore acqueo, l'intera quantità di calore latente viene generata dalla corrente elettrica ( $Q_{ven,u,el}^{(i)}$ ). Se inoltre c'è una batteria di riscaldamento alimentata elettricamente, anche la quantità di calore sensibile viene generata tramite energia elettrica ( $Q_{ven,HB,el}^{(i)}$ ).

Qualora all'interno dell'unità di ventilazione ci fosse una pompa di calore, si deve calcolare l'energia elettrica fornita alla pompa di calore. Il calcolo da effettuare é il seguente:

$$Q_{ven,P,el}^{(i)} = Q_{ven,s}^{(i)} \cdot \frac{1}{\epsilon_w^P} \dots \text{ in kWh/M} \quad (73)$$

Il coefficiente di rendimento della pompa di calore interna si suppone si assume pari a:

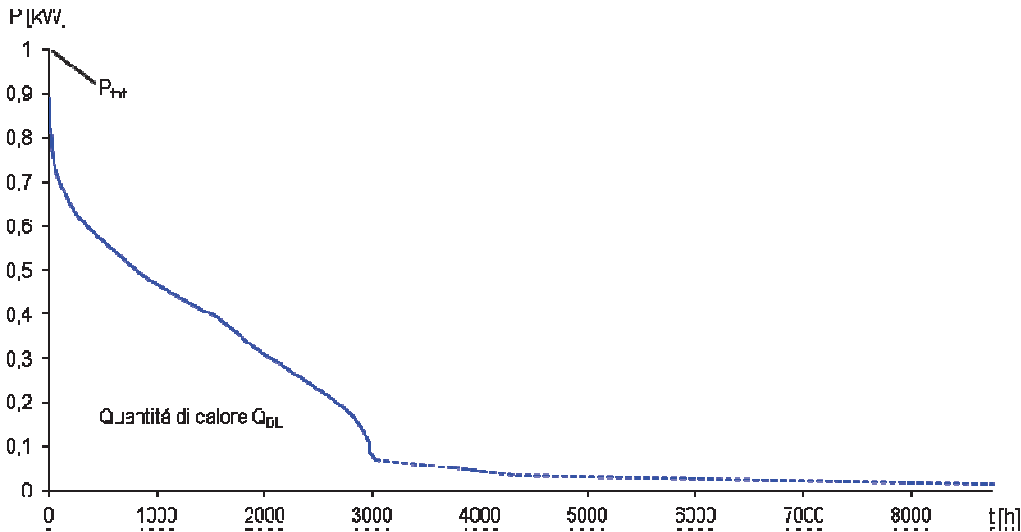
$$\epsilon_w^P = 4,0 \quad (74)$$

Pertanto la quantità di energia complessiva da immettere nell'impianto di ventilazione, che viene generata dalla corrente elettrica sarà la seguente:

$$Q_{ven,el} = \sum_i (Q_{ven,u,el}^{(i)} + Q_{ven,HB,el}^{(i)} + Q_{ven,P,el}^{(i)}) \dots \text{ in kWh/M} \quad (75)$$

## 5.8 Cogenerazione

Il calcolo per determinare la quantità di calore generata avviene per mezzo di una curva di continuità unitaria, ricavata da diverse simulazioni dinamiche di edifici.



Questa curva si

applica a ciascun edificio per mezzo di due parametri, ossia:

- Massimo rendimento che corrisponde a  $P_{tot}$
- L'area sotto la curva corrisponde alla seguente quantità di energia

$$Q_{DL} = \sum_{month} (Q_{all} - Q_{sol} - Q_{WW,el} - Q_{Ven,el}) \dots \text{in kWh} \quad (76)$$

Quella parte di diagramma che nella curva sopra disegnata è tratteggiata, non può essere adoperata per gli impianti di cogenerazione.

La quantità di calore  $\sum Q_{B,th}$ , che viene generata nell'arco di un anno, corrisponde alla quantità di calore sotto la curva unitaria, che a sua volta viene delimitata da due fattori: dal massimo rendimento termico e dal carico parziale dell'impianto, che si assume pari al 50% del rendimento termico.

Questa quantità di calore viene diviso in proporzione al fabbisogno di calore:

$$Q_{B,th} = \frac{(Q_{all} - Q_{sol} - Q_{WW,el} - Q_{Ven,el}) \cdot \sum Q_{B,th}}{\sum_{month} (Q_{all} - Q_{sol} - Q_{WW,el} - Q_{Ven,el})} \dots \text{in kWh} \quad (77)$$

L'energia elettrica generata è la seguente:

$$Q_{B,el} = Q_{B,th} \cdot \frac{\eta_{B,el}}{\eta_{B,th}} \dots \text{in kWh/M} \quad (78)$$

I due gradi di rendimento e la resa elettrica devono essere inseriti manualmente a seconda del tipo di fabbricato.

L'energia finale, che viene fornita all'impianto di cogenerazione si determina come segue:

$$Q_{B,P} = \frac{Q_{B,th}}{\eta_{B,th}} \dots \text{in kWh/M} \quad (79)$$

Il rendimento termico si calcola come segue:

$$P_{B,th} = P_{B,el} \cdot \frac{\eta_{B,th}}{\eta_{B,el}} \dots\dots \text{in kW (80)c}$$

La resa complessiva dell'impianto si ottiene sommando i seguenti dati:

$$\eta_{B,s} = \eta_{B,el} + \eta_{B,th} \quad (81)$$

## 5.9 Pompa di calore elettrica

La quantità di calore generata dalla pompa di calore si determina come segue:

$$Q_{cw} = P_{cw,el} \cdot SPF \cdot d \cdot 24 \dots\dots \text{in kWh/M} \quad (82)$$

Il fabbisogno di energia elettrica si calcola come segue:

$$Q_{cw,el} = \frac{Q_{cw}}{SPF} \dots\dots \text{in kWh/M} \quad (83)$$

L'efficienza stagionale , SPFsi calcola in funzione della temperatura di mandata e della sorgente energetica.

Fonte energetica	Aria	Acqua di falda	Scambiatore di calore interrato (sonde e scamb. a serpentine)	Altre fonti di calore
Riscaldamento a bassa temperatura (a pavimento / parete)	3,0	4,0	3,8	inserire SPF
Riscaldamento a radiatori, termostriscie	2,2	3,0	2,8	inserire SPF
Ventilconvettori	2,0	2,8	2,6	inserire SPF
Riscaldamento ad aria, aerotermi	2,0	2,8	2,6	inserire SPF
Altri impianti o combinazione di impianti	inserire SPF	inserire SPF	inserire SPF	inserire SPF

## 5.10 Pompa di calore ad assorbimento

Innanzitutto bisogna distinguere i combustibili tra gas metano e gas liquido.

$$Q_{AB} = Q_{ab} \cdot / SPF \dots \text{ in kWh/a} \quad (84)$$

$$Q_{ab} = P_{cw,el} \cdot \varepsilon_w \cdot d \cdot 24 \dots \text{ in kWh/M} \quad (85)$$

Il fabbisogno di gas si determina in base alla quantità di calore e al coefficiente stagionale di rendimento dell'impianto alimentato a gas.

Il coefficiente SPF dell'impianto alimentato a gas viene inserito in funzione della temperatura di mandata e della sorgente energetica.

Fonte energetica	Aria	Acqua di falda	Scambiatore di calore interrato (sonde e scamb. a serpentine)	Altre fonti di calore
Riscaldamento a bassa temperatura (a pavimento / parete)	1,40	1,65	1,65	inserire SPF
Riscaldamento a radiatori, termostriscie	1,20	1,50	1,50	inserire SPF
Ventilconvettori	1,00	1,20	1,20	inserire SPF
Riscaldamento ad aria, aerotermi	1,00	1,20	1,20	inserire SPF
Altri impianti o combinazione di impianti	inserire SPF	inserire SPF	inserire SPF	inserire SPF

## 5.11 Fabbisogno rimanente di calore

La parte rimanente del fabbisogno totale di calore, che non sia possibile coprire mediante gli impianti tecnici già menzionati (impianto solare, impianto di cogenerazione, pompa di calore), viene calcolata come segue:

$$Q_R = Q_{WB} - Q_{sol} - Q_{WW,el} - Q_{Ven,el} - Q_{B,th} - Q_{cw} - Q_{ab} \dots \text{ in kWh/a} \quad (86)$$

Vi sono due possibilità per coprire questo fabbisogno di calore rimanente: o tramite una caldaia o tramite teleriscaldamento.

### Caldaia

L'energia finale da apportare alla caldaia, viene calcolata come segue:

$$Q_{K,E} = \frac{Q_R}{\eta_P} \dots \text{ in kWh/a} \quad (87)$$

Inoltre bisogna tenere conto del tipo di terminale di riscaldamento (riscaldamento a pavimento, radiatori ecc.); ossia se nel foglio „Impianti tecnologici“ nella parte riguardante le caratteristiche delle installazioni del sistema di riscaldamento sono contrassegnati i campi “riscaldamento a bassa temperatura” o “sistema combinato”, si devono inserire i valori  $\eta_{P\_NT}$  o  $\eta_{P\_KOMBI}$ .

Tipo di caldaia			
-----------------	--	--	--

	$\eta_P$ [%]	$\eta_{P\_NT}$ [%]	$\eta_{P\_KOMBI}$ [%]
Caldaia a bassa temperatura – Gasolio	92	<b>94</b>	93
Caldaia a condensazione - Gasolio	96	<b>105</b>	101
Caldaia - Gasolio	86	<b>86</b>	86
Caldaia a bassa temperatura – Gas	93	<b>95</b>	94
Caldaia a condensazione - Gas	98	<b>108</b>	103
Caldaia - Gas	88	<b>88</b>	88
Caldaia a legna ad aria soffiata	86	<b>86</b>	86
Caldaia a cippato	88	<b>88</b>	88
Caldaia a pellets	90	<b>90</b>	90

Qualora il generatore di calore sia situato esternamente all'edificio, ma tuttavia nelle immediate vicinanze, i vari gradi di efficienza devono essere moltiplicati per un fattore di riduzione pari a 0,95.

### *Collegamento al teleriscaldamento*

L'allacciamento al teleriscaldamento viene equiparato alle energie rinnovabili se prodotto da energie rinnovabili o calore di recupero..

$$Q_{FW} = Q_R \dots \text{ in kWh/a} \quad (88)$$

In questo caso si tiene conto anche del rendimento energetico della sottostazione di teleriscaldamento. La sottostazione di teleriscaldamento (stazione domestica) é il tramite tra la rete del teleriscaldamento e l'impianto domestico e viene inserita nel calcolo con un rendimento pari al 98%.

$$Q_{FW} = \frac{Q_R}{\eta_{wii}} \dots \text{ in kWh/a} \quad (89)$$

### *Fabbisogno energetico rimanente, che non viene coperto*

Puó anche verificarsi il caso in cui, a seguito dei valori fissati inseriti nei calcoli precedenti, rimanga scoperta una minima parte del fabbisogno energetico. In questo caso il progettista degli impianti puó dichiarare che gli impianti presenti sono sufficienti per coprire il fabbisogno energetico complessivo.

In questo caso non é necessario effettuare alcun ulteriore calcolo:

$$Q_{ng} = Q_R \text{ in kWh/a} \quad (90)$$

## 5.12 Fabbisogno di energia elettrica

Il fabbisogno complessivo di energia elettrica si compone delle seguenti voci:

$$Q_{el} = Q_{h,el} + Q_{i,el} + Q_{WW,el} + Q_{Ven,el} + Q_{U,D} + Q_{cw,el} + Q_{H,el} + Q_{KÜ,el} \dots \text{ in kWh/a} \quad (91)$$

### Riscaldamento elettrico

Il fabbisogno di corrente elettrica per il riscaldamento elettrico si determina come segue:

$$Q_{h,el} = \frac{Q_h}{\eta_{el}} \dots \text{ in kWh/a} \quad (92)$$

$\eta_{el}$  é il rendimento complessivo per la cessione del calore all'ambiente, che si assume pari a 0,94..

### Illuminazione

Il fabbisogno energetico annuo per l'illuminazione si calcola come segue:

$$Q_{i,el} = 6 \cdot A + \frac{t_u \cdot P_A}{1000} \dots \text{ in kWh/a} \quad (93)$$

Come tempo di funzionamento effettivo si inserisce il dato tratto dalla tabella:

Utilizzo dell'edificio:	$t_u$ [h/a]
Uffici	2.500
Abitazioni uni- e bifamiliari	2.450
Condomini abitativi	2.450
Uffici e appartamenti	2.500
Scuole, asili	2.000
Alberghi	3.500
Ospedali	4.000
Impianti sportivi	4.000
Altri edifici pubblici	2.000

Bisogna scegliere tra sistema di illuminazione tradizionale o ad alta efficienza, oppure una combinazione di entrambi.

La potenza specifica media  $P_A$  si calcola in base alla tabella:

Utilizzo dell'edificio:	$q_{i,B}$ [W/m <sup>2</sup> ]	$q_{i,B,Kombi}$ [W/m <sup>2</sup> ]	$q_{i,B,ESL}$ [W/m <sup>2</sup> ]
Uffici	67	41	15
Abitazioni uni- e bifamiliari	22	14	6
Condomini abitativi	22	14	6
Uffici e appartamenti	67	41	15
Scuole, Asili	67	41	15
Alberghi	67	41	15
Ospedali	67	41	15
Impianti sportivi	67	41	15
Altri edifici pubblici	67	41	15



### *Impianto fotovoltaico*

Il calcolo per determinare la corrente elettrica generata per mezzo dell'impianto fotovoltaico é lo stesso che si utilizza per quanto riguarda l'impianto solare.

$$Q_{Ph,el} = G \cdot \frac{f_N \cdot f_A}{f_S} \cdot A_{Ph} \cdot n_{Ph} \cdot \eta_{Ph} \cdot \eta_{Ph\_Anl.} \cdot d \dots \text{ in kWh/M} \quad (94)$$

Nel calcolo si parte dal principio che l'intera quantit  di corrente ottenuta venga utilizzata oppure immessa nella rete pubblica.

#### *5.12.1 Fabbisogno elettrico prelevato dalla rete elettrica pubblica*

La corrente che viene prelevata dalla rete pubblica ed eventualmente anche quella che vi viene immessa si calcola come segue:

$$Q_{grid} = Q_{el} - Q_{Ph,el} - Q_{B,el} \dots \text{ in kWh/M} \quad (95)$$

### 5.13 Raffrescamento

I dati relativi al carico estivo latente e sensibile ( $P_s$  e  $P_L$ ) devono essere inseriti manualmente; è possibile anche considerare una percentuale di copertura dei due carichi. Inoltre va inserita la superficie netta degli ambienti raffrescati.

#### *Indicazione del sistema di raffreddamento degli ambienti climatizzati*

Si può scegliere tra i seguenti sistemi di refrigerazione; questi influiscono sul coefficiente di rendimento della macchina che produce il freddo e sull'energia elettrica ausiliaria:

- Ventilconvettori
- Raffrescamento radiante con ventilconvettori per la deumidificazione
- Raffrescamento radiante con aria primaria per la deumidificazione
- Raffrescamento radiante senza deumidificazione
- Raffrescamento solo ad aria con batteria di raffreddamento esterna
- Altri impianti o combinazioni di impianti

#### *Refrigeratori*

Per la produzione del freddo si può scegliere tra i seguenti refrigeratori:

- Gruppo refrigeratore acqua – aria
- Gruppo refrigeratore acqua – acqua con torre di raffreddamento
- gruppo refrigeratore acqua – acqua con acqua di falda
- Batteria di raffrescamento acqua – acqua con scambiatore geotermico (sonde o scambiatore a serpentine)
- Impianto ad assorbimento alimentato a gas:
  - Combustibile a scelta: con gas metano  
con gas liquido
  - Smaltimento del calore a scelta: aria  
acqua tramite torre di raffreddamento  
acqua di falda  
scambiatore di calore interrato (sonde o scambiatore a serpentine)
- Impianto ad assorbimento con calore proveniente dall'impianto di cogenerazione
  - Smaltimento del calore a scelta: aria  
acqua tramite torre di raffreddamento  
acqua di falda  
scambiatore di calore interrato (sonde o scambiatore a serpentine)
- Impianto ad assorbimento con calore proveniente dall'impianto solare

Smaltimento del calore a scelta:    aria  
     acqua tramite torre di raffreddamento  
     acqua di falda  
     scambiatore di calore interrato (sonde o  
     scambiatore a serpentine)

- Altri impianti o combinazioni di impianti

### *Fabbisogno di energia per raffrescamento*

Il carico termico per raffrescamento si calcola secondo la relazione seguente:

$$P_{cool} = P_S + P_L$$

in cui:

$P_S$  è il carico sensibile ambiente

$P_L$  è la potenza richiesta per il raffreddamento e la deumidificazione della portata dell'impianto di ventilazione forzata.

Questi valori devono essere calcolati separatamente e inseriti manualmente.

Fabbisogno di energia elettrica

Il fabbisogno di corrente elettrica per il raffrescamento si calcola come segue:

$$Q_{K\ddot{U},el} = (P_S + P_L) \cdot b_{VK} \cdot f_{KB} \cdot / SEER \dots \text{ in kWh/a} \quad (96)$$

I carichi estivi ( $P_S$  e  $P_L$ ) vengono inseriti manualmente, le ore di raffrescamento a pieno carico ( $b_{VK}$ ) rientrano direttamente nel calcolo a seconda del luogo in cui si trova l'edificio.

Il coefficiente di correzione  $f_{KB}$  varia a seconda del tipo di costruzione:

Tipo di costruzione:	$f_{KB}$
leggera	0,22
media (legno e massiccia)	0,30
Pesante	0,38

Il coefficiente di efficienza (EER) del gruppo refrigeratore si determina in funzione della combinazione tra sistema di produzione e sistema di emissione del freddo.

<b>Produzione</b>	Batteria di raffrescamento acqua – aria	Batteria di raffrescamento acqua - acqua con torre di raffreddamento	Batteria di raffrescamento acqua - acqua con acqua di falda	Batteria di raffrescamento acqua – acqua con scambiatore geotermico (sonde e scamb. a serpentine)
Ventilconvettori	2,6	2,8	3,7	3,7
Pannelli di raffrescamento con ventilconvettori per la deumidificazione	2,8	3,0	4,2	4,2
Pannelli di raffrescamento con aria primaria per la deumidificazione	2,8	3,0	4,2	4,2
Pannelli di raffrescamento senza deumidificazione	3,0	3,2	4,6	4,6
Raffrescamento solo ad aria con batteria di raffrescamento esterna	2,6	2,8	3,8	3,8
Descrizione dell'impianto	inserire EER	inserire EER	inserire EER	Inserire EER

#### Fabbisogno di energia termica

Il fabbisogno di energia termica per alimentazione degli impianti di raffrescamento si calcola con la relazione seguente:

$$Q_{K\ddot{U},ab} = (P_S + P_L) \cdot b_{VK} \cdot f_{KB} \cdot / EER \dots \text{ in kWh/a}$$

Nel caso degli impianti ad assorbimento alimentati a gas si devono inserire i seguenti valori; con questo calcolo si determina il fabbisogno di energia prodotta da gas metano o gas liquido.

<b>Smaltimento del calore</b>	Aria	Acqua con torre di raffreddamento	Acqua di falda	Scambiatore di calore interrato (sonde e scamb. a serpentine)
Ventilconvettori	0,70	0,72	0,80	0,80
Pannelli di raffrescamento con ventilconvettori per la deumidificazione	0,75	0,77	0,85	0,85
Pannelli di raffrescamento con aria primaria per la deumidificazione	0,75	0,77	0,85	0,85
Pannelli di raffrescamento senza deumidificazione	0,80	0,82	0,90	0,90
Raffrescamento solo ad aria con batteria di raffrescamento esterna	0,70	0,72	0,80	0,80
Descrizione dell'impianto	inserire EER	inserire EER	inserire EER	inserire EER

Nel caso di impianti ad assorbimento alimentato con calore proveniente da un impianto di cogenerazione, si inseriscono i seguenti valori:

<b>Smaltimento del calore</b>	Aria	Acqua con torre di raffreddamento	Acqua di falda	Scambiatore di calore interrato (sonde e scamb. a serpentine)
Ventilconvettori	0,63	0,65	0,72	0,72
Pannelli di raffrescamento con ventilconvettori per la deumidificazione	0,68	0,69	0,77	0,77
Pannelli di raffrescamento con aria primaria per la deumidificazione	0,68	0,69	0,77	0,77
Pannelli di raffrescamento senza deumidificazione	0,72	0,74	0,81	0,81
Raffrescamento solo ad aria con batteria di raffrescamento esterna	0,63	0,65	0,72	0,72
Descrizione dell'impianto	inserire EER	inserire EER	inserire EER	inserire EER

Nel calcolo riguardante la produzione termica dell'impianto di cogenerazione si tiene conto anche del grado di copertura del fabbisogno attraverso l'impianto.

$$Q_{K\ddot{U},el,BHKW} = (P_S + P_L) \cdot b_{VK} \cdot f_{KB} \cdot EER \cdot f_{adg} \dots \text{in kWh/a} \quad (97)$$

L'energia elettrica generata è la seguente:

$$Q_{B,el} = Q_{B,th} \cdot \frac{\eta_{B,el}}{\eta_{B,th}} \dots \text{in kWh/M} \quad (98)$$

I due valori relativi al rendimento energetico e alla potenza elettrica variano a seconda del modello, e devono quindi essere inseriti manualmente.

L'energia finale che viene apportata all'impianto di cogenerazione compatto è la seguente:

$$Q_{B,P} = \frac{Q_{B,th}}{\eta_{B,th}} \dots \text{in kWh/M} \quad (99)$$

Il rimanente fabbisogno di freddo verrà coperto per mezzo del tipo di impianto scelto.

Negli impianti ad assorbimento con il calore proveniente dall'impianto solare, si applicano i seguenti valori:

<b>Smaltimento del calore</b>	Aria	Acqua con torre di raffreddamento	Acqua di falda	Scambiatore di calore interrato (sonde e scamb. a serpentine)
Ventilconvettori	0,62	0,64	0,71	0,71
Pannelli di raffreddamento con ventilconvettori per la deumidificazione	0,67	0,68	0,75	0,75
Pannelli di raffreddamento con aria primaria per il raffreddamento	0,67	0,68	0,75	0,75
Pannelli di raffreddamento senza deumidificazione	0,71	0,73	0,79	0,79
Raffrescamento solo ad aria con batteria di raffreddamento esterna	0,62	0,64	0,71	0,71
Descrizione dell'impianto	inserire EER	inserire EER	inserire SEER	inserire EER

Il grado di copertura dell'impianto solare rispetto al fabbisogno totale di freddo si calcola come segue:

$$DG = \frac{Q_{sol} \cdot 0,8}{Q_{KU,el}} \dots \text{in kWh/M (100)}$$

Il fabbisogno rimanente di freddo verrà di conseguenza coperto dal tipo di impianto scelto.

## 5.14 Energia ausiliaria

Nel calcolo del fabbisogno di corrente si deve aggiungere anche il valore  $Q_{H,el}$  relativo alla corrente ausiliaria, necessaria per il funzionamento degli impianti tecnologici, che viene determinato come segue:

$$Q_{H,el} = Q_{H,L,el} + Q_{H,HV,el} + Q_{H,Z,el} + Q_{H,WE,el} + Q_{H,S,el} + Q_{H,WP,el} + Q_{K,KV,el} + Q_{K,NC,el} \quad (101)$$

Ventilazione  $Q_{H,L,el}$ :

Tipo di utilizzo dell'edificio	$P_m$ [W/(m <sup>3</sup> /h)]	Tempo di funzionamento $t_B$ [h/d]	Giorni d [d]
Uffici	0,60	da inserire	260
Abitazioni uni- e bifamiliari	0,45	16	350
Condomini	0,45	16	350
Uffici e abitazioni	0,48	da inserire	350
Scuole, asili	0,60	da inserire	260
Alberghi	0,60	da inserire	260
Ospedali	0,60	da inserire	365
Impianti sportivi	0,60	da inserire	260

$$Q_{H,L,el} = \frac{P_m \cdot [\sum (q_{V,f}^{(1-5)} \cdot t_B^{(1-5)})] \cdot d}{1000} \quad [\text{kWh/a}] \quad (102)$$

Distribuzione riscaldamento  $Q_{H,HV,el}$ :

Sistema di riscaldamento	$P_m < 250\text{m}^2$ [W/m <sup>2</sup> ]	$250 > P_m > 3000\text{m}^2$ [W/m <sup>2</sup> ]	$P_m > 3000\text{m}^2$ [W/m <sup>2</sup> ]	$t_{el}$ [h/a]
Riscaldam.a bassa temp.	0,85	Interpolaz. lineare	0,25	$HT_{12} \cdot 16$
Radiatori, pannelli	0,45	Interpolaz. lineare	0,25	$HT_{12} \cdot 16$
Sistema combinato (bassa e alta temp.)	0,65	Interpolaz. lineare	0,25	$HT_{12} \cdot 16$
Ventilconvettori	0,90	Interpolaz. lineare	0,5	$HT_{12} \cdot 16$
Riscaldam. ad aria, aerotermi	0,90	Interpolaz. lineare	0,5	$HT_{12} \cdot 16$

$$Q_{H,HV,el} = \frac{P_m \cdot NGF_B \cdot t_{el}}{1000} \quad [\text{kWh/a}] \quad (103)$$

Il tempo di funzionamento medio  $t_{el}$  si ottiene moltiplicando i giorni di riscaldamento  $HT_{12}$  (differenti a seconda del comune) per il numero delle ore (16h).

### Ricircolo $Q_{H,Z,el}$

	$P_m < 250 \text{m}^2 \text{NGF}$ [W/m <sup>2</sup> ]	$P_m > 250 \text{m}^2 \text{NGF}$ [W/m <sup>2</sup> ]	$t_z$ [h/a]
Acqua calda prodotta con energia termica	0,2	0,1	5.840
Produtz. elettrica acqua calda	0	0	5.840

$$Q_{H,Z,el} = \frac{P_m \cdot NGF_B \cdot t_z}{1000} \text{ [kWh/a]} \quad (104)$$

Per quanto riguarda il calcolo del fabbisogno di acqua calda, se la resistenza elettrica è nella condizione di „funzionamento tutto l’anno“ si assume  $Q_{H,Z,el} = 0$ , altrimenti si applica la formula riportata sopra.

### Generatori di calore: caldaie e teleriscaldamento $Q_{H,WE,el}$

Generatori di calore	$P_m < 250 \text{m}^2$ [W/m <sup>2</sup> ]	$250 > P_m > 3000 \text{m}^2$ [W/m <sup>2</sup> ]	$P_m > 3000 \text{m}^2$ [W/m <sup>2</sup> ]	$t_{WZ}$ [h/a]
Caldaia a bassa temperatura a olio	0,45	Interpolaz. lineare	0,10	$Q_{Nutz} / P_{tot}$
Caldaia a condensazione a olio	0,45	Interpolaz. lineare	0,10	$Q_{Nutz} / P_{tot}$
Caldaia a olio	0,45	Interpolaz. lineare	0,10	$Q_{Nutz} / P_{tot}$
Caldaia a bassa temperatura a gas	0,45	Interpolaz. lineare	0,10	$Q_{Nutz} / P_{tot}$
Caldaia a condensazione a gas	0,45	Interpolaz. lineare	0,10	$Q_{Nutz} / P_{tot}$
Caldaia a gas	0,45	Interpolaz. lineare	0,10	$Q_{Nutz} / P_{tot}$
Caldaia a legna ad aria soffiata	0,50	Interpolaz. lineare	0,20	$Q_{Nutz} / P_{tot}$
Caldaia a trucioli	0,70	Interpolaz. lineare	0,30	$Q_{Nutz} / P_{tot}$
Caldaia a pellets	0,60	Interpolaz. lineare	0,25	$Q_{Nutz} / P_{tot}$
Teleriscaldamento	0,05	0,05	0,05	8.760

$$Q_{H,WE,el} = \frac{P_m \cdot NGF_B \cdot t_{WZ}}{1000} \text{ [kWh/a]} \quad (105)$$

A seconda del sistema (caldaia o teleriscaldamento) si applicano i rispettivi valori ( $P_m$ ) in rapporto alla superficie netta del piano e si inseriscono nella formula riportata sopra.

Il tempo medio di funzionamento  $t_{WZ}$  si determina come segue (tranne nel caso del teleriscaldamento, in cui si applica un valore fisso pari a 8.760h):

$$t_{WZ} = \frac{Q_h + Q_{WW} + Q_U}{P_{tot}} \text{ [h]} \quad (106)$$



### Impianto solare $Q_{H,S,el}$

	$P_m < 500 \text{m}^2 \text{NGF}$ [W/m <sup>2</sup> ]	$P_m > 500 \text{m}^2 \text{NGF}$ [W/m <sup>2</sup> ]	$t_S$ [h/a]
Impianto solare	0,3	0,2	1.800

$$Q_{H,S,el} = \frac{P_m \cdot NGF_B \cdot t_S}{1000} \text{ [kWh/a]} \quad (107)$$

La potenza elettrica specifica media viene moltiplicata per la superficie netta del piano e per il tempo di funzionamento, e diviso per 1.000.

### Pompa di calore $Q_{H,WP,el}$

Pompa di calore	$P_m$ [W/m <sup>2</sup> ]	$t_{WP} = t_{WZ}$ [h/a]
Acqua di falda	1,3	$t_{WZ}$
Terreno	0,8	$t_{WZ}$
Aria	0	$t_{WZ}$

$$Q_{H,WP,el} = \frac{P_m \cdot NGF_B \cdot t_{WP}}{1000} \text{ [kWh/a]} \quad (108)$$

### Sistema di raffrescamento $Q_{K,KV,el}$

Sistema di raffrescamento	$P_m < 250 \text{m}^2$ [W/m <sup>2</sup> ]	$250 > P_m > 3000 \text{m}^2$ [W/m <sup>2</sup> ]	$P_m > 3000 \text{m}^2$ [W/m <sup>2</sup> ]	$t_{el}$ [h/a]
Ventilconvettori	0,9	Interpolaz. lineare	0,5	$KT_{18,3} \cdot 8$
Pannelli di raffrescam. con ventilconvettori per la deumidificazione	1,1	Interpolaz. lineare	0,6	$KT_{18,3} \cdot 8$
Pannelli di raffrescam. con aria primaria per la deumidificazione	1,0	Interpolaz. lineare	0,55	$KT_{18,3} \cdot 8$
Pannelli di raffrescam. senza deumidificazione	0,85	Interpolaz. lineare	0,25	$KT_{18,3} \cdot 8$
Raffrescam. solo ad aria	0,2	Interpolaz. lineare	0,1	$KT_{18,3} \cdot 8$
Altri impianti o combinazioni di impianti	1	Interpolaz. lineare	0,55	$KT_{18,3} \cdot 8$

$$Q_{K,KV,el} = \frac{P_m \cdot NGF_K \cdot t_{el}}{1000} \text{ [kWh/a]} \quad (109)$$

In base al sistema di refrigerazione scelto, si determina la potenza elettrica specifica media  $P_m$  viene poi inserita nel calcolo. I valori  $P_m$  si differenziano a seconda della grandezza della superficie netta del piano; tra 250 e 3.000m<sup>2</sup> si deve calcolare per interpolazione lineare.

Il tempo medio di funzionamento  $t_{el}$  si ottiene moltiplicando i giorni di raffrescamento  $KT_{18,3}$  (diversi per ogni Comune) per il numero di ore (8h).

### *Natural cooling*

Nel caso di raffrescamento attraverso natural cooling si deve considerare il fabbisogno di energia elettrica della pompa primaria.

Natural cooling	$P_m$ [W/m <sup>2</sup> ]	$t_{el}$ [h/a]
Acqua di falda	1,3	$KT_{18,3} \cdot 8$
Terreno	0,8	$KT_{18,3} \cdot 8$

$$Q_{K,NC,el} = \frac{P_m \cdot NGF_K \cdot t_{el}}{1000} \text{ [kWh/a]} \quad (110)$$

## 5.15 Efficienza complessiva ed emissioni di CO<sub>2</sub>

Come emissioni di CO<sub>2</sub> si considerano i cosiddetti fattori di emissione CO<sub>2</sub> e/o equivalenti. Esse non si limitano dunque alle sole emissioni di anidride carbonica, ma comprendono anche altri tipi di emissioni nocive, ossia (CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub> oppure N<sub>2</sub>O).

Le emissioni di CO<sub>2</sub> di un edificio dipendono sia dalla quantità di energia primaria, che dal tipo di combustibile e dalla relativa quantità di emissioni di CO<sub>2</sub>.

$$m_{CO_2} = \sum_i (Q^{(i)} \cdot \varepsilon_{CO_2}) \dots \text{in kg CO}_2 \quad (111)$$

Il grado di emissioni di CO<sub>2</sub> in kg/kWh<sub>End</sub> con sigla  $\varepsilon_{CO_2}$  varia a seconda del combustibile, secondo la seguente tabella:

Combustibile	$\varepsilon_{CO_2}$
Olio combustibile super leggero	0,290
Olio combustibile leggero	0,303
Gas liquido (GPL)	0,263
Olio di colza	0,033
Gas metano	0,249
Cippato	0,035
Briketts / legna in ceppi	0,055
Pellets	0,042
Corrente	0,647
Teleriscaldamento: olio combustibile	0,410
Teleriscaldamento: gas metano	0,300
Teleriscaldamento: olio combustibile con cogenerazione	0,280
Teleriscaldamento: gas metano con cogenerazione	0,270
Teleriscaldamento: olio di colza	0,150
Teleriscaldamento: olio di colza con cogenerazione	0,180
Teleriscaldamento: legna con caldaia a gas metano per i picchi	0,125
Teleriscaldamento: legna con con caldaia ad olio per i picchi	0,150
Teleriscaldamento: legna con con caldaia a olio di colza per i picchi	0,100
Teleriscaldamento: termovalorizzazione	0,150

### Emissioni specifiche di CO<sub>2</sub>

L'emissione annua di CO<sub>2</sub> riferita alla superficie riscaldata netta del piano si calcola come segue:

$$CO2_{NGF} = \frac{m_{CO_2}}{NGF_B} \dots \text{in kg CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \quad (112)$$

L'efficienza energetica complessiva degli edifici vengono classificati, come già avviene a seconda del fabbisogno di riscaldamento, per quanto riguarda le emissioni specifiche di CO<sub>2</sub>.

Classificazione degli edifici:	EP_NGF [kWh/m <sup>2</sup> a]	CO <sub>2</sub> _NGF [CO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> ·a)]
Gold	Dlgs311 ss	≤ 5
A	Dlgs311 ss	≤ 10
B	Dlgs311 ss	≤ 20
C	Dlgs311 ss	≤ 30
D	Dlgs311 ss	≤ 40
E	Dlgs311 ss	≤ 50
F	Dlgs311 ss	≤ 60
G	Dlgs311 ss	>70

### 5.16 Coefficiente di prestazione dell'impianto / fabbisogno di energia primaria / fonti rinnovabili

#### *Coefficiente di prestazione dell'impianto / fabbisogno di energia primaria*

Il coefficiente di prestazione dell'impianto è il rapporto tra energia primaria e fabbisogno complessivo di calore e si determina come segue:

$$e_p = \frac{Q_p}{Q_h + Q_{ww} + Q_u + Q_{el}}$$

Il fabbisogno di energia primaria è la somma delle singole quantità di energia, moltiplicato per il rispettivo fattore di energia primaria.

$$Q_p = Q_{el} \cdot f_{P,el} + Q_{B,P} \cdot f_{P,BHKW} + Q_{FW} \cdot f_{P,FW} + Q_{K,E} \cdot f_{P,K} + Q_{grid} \cdot f_{P,el} \dots \text{ in kWh/(m}^2\text{·a)}$$

#### *Percentuale delle energie rinnovabili*

La parte delle energie rinnovabili derivante dal rapporto tra la somma delle energie rinnovabili e la somma delle energie primarie.

## 6 Tabelle con i dati per i calcoli

**Tab. 1: Resistenza di convezione termica e fattori di correzione della temperatura degli elementi strutturali**

Flusso di calore verso l'esterno tramite	Resistenza di convezione termica in m <sup>2</sup> ·K/W			Fattore correzione della temperatura $f_i$
	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$	
<b>Elementi a contatto con l'aria esterna</b>				
Parete esterna non ventilata	0,13	0,04	0,17	1,0
ventilata	0,13	0,13	0,26	1,0
Solaio esterno verso l'alto:				
non ventilato	0,10	0,04	0,14	1,0
ventilato	0,10	0,10	0,20	1,0
verso il basso:				
non ventilato	0,17	0,04	0,21	1,0
ventilato	0,17	0,17	0,34	1,0
Tetto a falda non ventilato	0,10	0,04	0,14	1,0
ventilato	0,10	0,10	0,20	1,0
<b>Elementi confinanti con ambienti non riscaldati</b>				
Parete verso sottotetto non riscaldato	0,13	0,13	0,26	0,9
Solaio verso sottotetto non riscaldato	0,10	0,10	0,20	0,9
Parete verso autorimessa sotterranea	0,13	0,13	0,26	0,8
Solaio verso autorimessa sotterranea	0,17	0,17	0,34	0,8
Parete verso giardino d'inverno non riscaldato con vetro esterno del giardino d'inverno:	0,13	0,13	0,26	
Vetro semplice $U > 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$				0,7
Vetro isolante $U \leq 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$				0,6
Vetro termoisolante $U \leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$				0,5
Parete verso scantinato non riscaldato	0,13	0,13	0,26	0,5
Solaio verso scantinato non riscaldato	0,17	0,17	0,34	0,5
Parete verso vano scale non riscaldato, esposto all'aria esterna	0,13	0,13	0,26	0,5
Parete verso cortile interno coperto da vetrata (Atrio)	0,13	0,13	0,26	0,5
Parete verso un vano non riscaldato	0,13	0,13	0,26	0,5
Solaio verso un vano non riscaldato verso l'alto	0,10	0,10	0,20	0,5
verso il basso	0,17	0,17	0,34	0,5
<b>Elementi contro terreno</b>				
Parete contro terreno	0,13	-	0,13	0,6
Pavimento contro terreno	0,17	-	0,17	0,5

**Tab. 2: Coefficienti di trasmissione del calore e utilizzo dell'energia totale per vetro**

Descrizione	$U_g$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	$g$
Vetrata semplice 6 mm	5,8	0,83
Vetrata trasparente isolante a due strati 6-8-6	3,2	0,71
Vetrata trasparente isolante a due strati 6-12-6	2,9	0,71
Vetrata trasparente isolante a due strati 6-16-6	2,7	0,72
Vetrata trasparente a due strati 6-30-6	2,7	0,72
Vetrata trasparente isolante a tre strati 6-12-6-12-6	1,9	0,63
Vetrata termoisolante a due strati rivestita 4-16-4 (Aria)	1,5	0,61
Vetrata termoisolante a due strati rivestita 4-15-6 (Ar)	1,1	0,61
Vetrata termoisolante a due strati rivestita 4-12-4 (Kr)	1,1	0,62
Vetrata termoisolante a due strati rivestita 4-12-4 (Xe)	0,9	0,62
Vetrata termoisolante a tre strati rivestita 4-8-4-8-4 (Kr)	0,7	0,48
Vetrata termoisolante a tre strati rivestita 4-8-4-8-4 (Xe)	0,5	0,48
Vetrata riflettente a due strati 6-15-6 (Ar)	1,1	0,25
Vetrata riflettente a due strati 6-12-4 (Ar)	1,4	0,27
Vetrata riflettente a due strati 6-15-6 (Ar)	1,3	0,29
Vetrata riflettente a due strati 6-15-4 (Ar)	1,4	0,33
Vetrata riflettente a due strati 6-12-4 (Ar)	1,4	0,39
Vetrata riflettente a due strati 6-12-4 (Ar)	1,4	0,44
Vetrata riflettente a due strati 6-15-6 (Ar)	1,3	0,48

**Tab. 3: Coefficienti di trasmissione del calore per telai in legno**

Spessore $d_f$ mm	$U_f$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	
	Legno morbido (500 kg/m <sup>3</sup> ) $\lambda = 0,13$ W/(m·K)	Legno duro (700 kg/m <sup>3</sup> ) $\lambda = 0,18$ W/(m·K)
30	2,3	2,70
50	2,0	2,35
70	1,8	2,05
90	1,6	1,85
110	1,4	1,65

**Tab. 4: Coefficienti di trasmissione del calore per telai in materiale plastico**

Materiale	Tipo di serramento	$U_f$ W/(m <sup>2</sup> ·K)
Poliuretano		2,6
Profili tubolari PVC	2 camere	2,2
	3 camere	2,0

**Tab. 5: Coefficienti di trasmissione del calore per telai in metallo**

	$U_f$ W/(m <sup>2</sup> ·K)
Con taglio termico	4,0
Senza taglio termico	6,0

**Tab. 6: Coefficiente di correzione per ponte termico tra serramento e vetro**

	Coefficiente di correzione $\psi_g$	
	Doppio / triplo vetro senza pellicola	Doppio / triplo vetro con pellicola
Serramento in legno o materiale plastico	0,04	0,06
Serramento metallico isolato	0,06	0,08
Serramento metallico non isolato	0,00	0,02

**Tab. 7: Coefficiente di correzione  $f_N$  in gradi, per inclinazione rispetto all'orizzonte**

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,21	1,15	1,10	1,06	1,04	1,03	1,04	1,05	1,08	1,13	1,19	1,23
10	1,40	1,28	1,18	1,12	1,08	1,06	1,07	1,10	1,16	1,25	1,37	1,45
15	1,59	1,41	1,26	1,16	1,10	1,08	1,09	1,14	1,22	1,36	1,54	1,66
20	1,76	1,53	1,33	1,20	1,12	1,09	1,10	1,16	1,28	1,45	1,69	1,86
25	1,92	1,63	1,39	1,22	1,13	1,09	1,11	1,18	1,32	1,54	1,84	2,04
30	2,07	1,73	1,44	1,24	1,13	1,08	1,10	1,19	1,36	1,62	1,97	2,21
35	2,20	1,80	1,48	1,25	1,12	1,07	1,09	1,19	1,38	1,68	2,08	2,36
40	2,31	1,87	1,50	1,25	1,10	1,04	1,07	1,19	1,40	1,73	2,18	2,49
45	2,41	1,92	1,52	1,24	1,08	1,01	1,04	1,17	1,40	1,77	2,27	2,61
50	2,48	1,96	1,52	1,22	1,04	0,97	1,01	1,14	1,40	1,80	2,33	2,70
55	2,54	1,98	1,51	1,19	1,00	0,93	0,96	1,11	1,38	1,81	2,38	2,78
60	2,58	1,99	1,49	1,15	0,95	0,87	0,91	1,07	1,35	1,80	2,41	2,83
65	2,65	1,98	1,46	1,11	0,90	0,81	0,85	1,02	1,31	1,79	2,42	2,86
70	2,60	1,96	1,42	1,05	0,84	0,75	0,79	0,96	1,27	1,76	2,41	2,87
75	2,58	1,92	1,37	0,99	0,77	0,68	0,72	0,89	1,21	1,71	2,39	2,86
80	2,54	1,87	1,30	0,92	0,69	0,60	0,64	0,82	1,14	1,66	2,34	2,82
85	2,48	1,80	1,23	0,84	0,61	0,52	0,56	0,74	1,07	1,59	2,28	2,77
90	2,40	1,72	1,15	0,75	0,53	0,43	0,47	0,65	0,98	1,51	2,20	2,69

**Tab. 8: Coefficiente di correzione  $f_s$  in gradi, per scostamento dal Sud**

Est																		Sud	
-90	-85	-80	-75	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	
1,54	1,47	1,4	1,35	1,29	1,25	1,2	1,17	1,14	1,115	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,005	1,00	
																		Ovest Nord	
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	180	
1,005	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,06	1,08	1,1	1,12	1,15	1,18	1,22	1,26	1,305	1,35	1,43	1,51	2,45	

**Tab. 9: Umidità relativa dell'aria esterna  $\varphi_e$  in %**

Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
54,7	58,5	56,2	56,7	63,9	63,6	59,7	62,3	64,2	70,3	74,1	55,6

**Tab. 10: Pressione parziale del vapore  $p_s$  [mbar  $\equiv$  hPa] a seconda della temperatura**

Temp. [°C]	$p_s$ [mbar]	Temp. [°C]	$p_s$ [mbar]	Temp. [°C]	$p_s$ [mbar]
-21	0,935	3	7,574	27	35,64
-20	1,09	4	8,129	28	37,78
-19	1,133	5	8,718	29	40,04
-18	1,246	6	9,346	30	42,41
-17	1,369	7	10,013	31	44,91
-16	1,503	8	10,721	32	47,53
-15	1,649	9	11,473	33	50,29
-14	1,808	10	12,271	34	53,18
-13	1,98	11	13,117	35	56,22
-12	2,169	12	14,015	36	59,4
-11	2,373	13	14,969	37	62,74
-10	2,595	14	15,974	38	66,24
-9	2,833	15	17,04	39	69,91
-8	3,095	16	18,169	40	73,75
-7	3,376	17	19,363	41	77,77
-6	3,681	18	20,62	42	81,98
-5	4,011	19	21,957	43	86,39
-4	4,368	20	23,37	44	91
-3	4,754	21	24,85	45	95,82
-2	5,172	22	26,42	46	100,85
-1	5,621	23	28,08	47	106,12
0	6,108	24	29,82	48	111,62
1	6,565	25	31,67	49	117,36
2	7,054	26	33,6	50	123,35