



## CAPITOLO VII - CERTIFICAZIONE ENERGETICA DELL'EDIFICIO

### 1. INTRODUZIONE

Il calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio deve essere eseguito per singolo subalterno, fatta salva la possibilità di redigere un attestato di certificazione energetica riferito anche a più unità immobiliari facenti parte di un medesimo edificio.

Ai soli fini dell'applicazione della presente procedura di calcolo, si considerano riscaldati o mantenuti a temperatura controllata anche:

- a) gli ambienti privi del sottosistema di emissione, qualora la somma dei loro volumi, riferiti all'unità immobiliare, risulti inferiore del 10% rispetto al volume complessivo della medesima unità;
- b) gli ambienti privi del sottosistema di emissione se collegati in modo permanente ad ambienti riscaldati o mantenuti a temperatura controllata mediante sistemi progettati al bisogno.

Si considerano inoltre i fabbisogni energetici dell'involucro riferiti al funzionamento continuo, cioè al mantenimento di una temperatura interna di ogni singola zona costante nelle 24 ore; si assumono costanti sulle 24 ore anche il livello di occupazione, gli apporti interni e i ricambi d'aria.

### 2. CONDIZIONI DI BENESSERE

#### A. CLIMATIZZAZIONE INVERNALE

Per gli edifici o parti di edificio a destinazione residenziale si assume una temperatura interna costante pari a 20°C ed un tasso di umidità relativa dell'aria costante e pari al 50%.

Il fabbisogno di energia termica dell'involucro per la climatizzazione invernale,  $Q_{NH}$ , viene calcolato su base mensile considerando il periodo di calcolo indicato in tabella 1 in funzione della zona climatica. La zona climatica della provincia di Como alla quale il comune di Erba appartiene, risulta essere la E.

Zona climatica	Periodo di calcolo
Zona D	1 novembre – 30 aprile
Zone E	1 ottobre – 30 aprile
Zone F	1 ottobre – 30 aprile

Tabella 1. Periodo di calcolo del fabbisogno di energia termica invernale

#### B. CLIMATIZZAZIONE ESTIVA

Per gli edifici o parti di edificio a destinazione residenziale si assume una temperatura interna costante pari a 26°C ed un tasso di umidità relativa dell'aria costante e pari al 50%.

Il fabbisogno di energia termica dell'involucro per la climatizzazione estiva,  $Q_{NC}$ , i cui limiti sono definiti dal valore positivo del fabbisogno, viene calcolato su base mensile. Il calcolo si effettua per tutti i mesi dell'anno, fatta eccezione per i mesi in cui è necessaria la climatizzazione invernale.



### 3. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le norme di seguito elencate costituiscono i riferimenti principali sui quali si basa la procedura di calcolo descritta.

UNI EN ISO 13790 Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.

UNI/TS 11300-1 Prestazione energetica degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.

UNI/TS 11300-2 Prestazione energetica degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

UNI/TS 11300-4 Prestazione energetica degli edifici - Utilizzo di energie rinnovabili e altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione di acqua calda sanitaria.

UNI EN 15316 Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto.

UNI EN ISO 6946 Componenti ed elementi per l'edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.

UNI EN 1745 Muratura e prodotti per muratura - Metodi per valutare la resistenza termica di progetto.

UNI 7357 Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento di edifici.

UNI 8477/1 Energia solare - Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia - Valutazione dell'energia raggiante ricevuta.

UNI EN ISO 10077-1 Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo semplificato.

UNI EN ISO 10077-2 Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo numerico per i telai.

UNI EN 13363-1 Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare luminosa - Metodo semplificato.

UNI 10339 Impianti aeraulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti - Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.

UNI 10349 Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici.

UNI 10351 Materiali da costruzione - Conduttività termica e permeabilità al vapore.

UNI 10355 Murature e solai - Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.

UNI EN ISO 14683 Ponti termici in edilizia - Coefficienti di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento.

UNI EN ISO 13370 Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo.

UNI EN ISO 13788 Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo.

UNI EN 13789 Prestazione termica degli edifici - Coefficiente di perdita di calore per trasmissione - Metodo di calcolo.

UNI EN 15193 Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione.

UNI EN 12464-1 Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni.



## 4. FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA DELL'EDIFICIO

### A. ZONE TERMICHE

Ai fini della determinazione del fabbisogno annuale di energia termica, l'edificio viene suddiviso in zone termiche omogenee: il fabbisogno annuale di energia termica viene quindi determinato sommando il fabbisogno energetico di ciascuna zona termica presente. Nel nostro caso si è scelto di individuare come zone termiche distinte gli appartamenti, così che sia possibile ricavare in modo agevole anche il fabbisogno termico di ciascuna unità abitativa.

### B. FABBISOGNO ANNUALE DI ENERGIA TERMICA DELL'EDIFICIO

Il fabbisogno annuale nominale di energia termica di un edificio viene determinato sommando il fabbisogno energetico delle singole zone termiche calcolato su base mensile, separatamente per la climatizzazione invernale e quella estiva, e viene calcolato due volte: una prima volta nell'ipotesi di ventilazione naturale o sola aerazione, per mettere in evidenza le caratteristiche termiche dell'involucro edilizio (valori di riferimento  $Q_{BH,yr}$  e  $Q_{BC,yr}$ ); una seconda volta considerando l'effettivo modo di ventilare l'edificio, per mettere in evidenza l'eventuale miglioramento di efficienza dovuto alla presenza di ventilazione meccanica e per calcolare correttamente l'energia richiesta al sistema di generazione, (valori corretto  $Q_{BH,adj,yr}$  e  $Q_{BC,adj,yr}$ ). Al fine di snellire i calcoli si è scelto di procedere direttamente con la determinazione dei valori corretti  $Q_{BH,adj,yr}$  e  $Q_{BC,adj,yr}$ . Si hanno quindi:

$$Q_{BH,adj,yr} = \sum_{m=1}^{N_H} \left( \sum_{i=1}^{N_Z} Q_{NH,adj,i,m} \right)$$

$$Q_{BC,adj,yr} = \sum_{m=1}^{N_C} \left( \sum_{i=1}^{N_Z} Q_{NC,adj,i,m} \right)$$

dove:

$Q_{BH,adj,yr}$  è il fabbisogno annuale di energia termica corretto per la climatizzazione invernale dell'edificio

$Q_{NH,adj,i,m}$  è il fabbisogno di energia termica corretto per la climatizzazione invernale della zona termica i-esima nel mese m-esimo

$Q_{BC,adj,yr}$  è il fabbisogno annuale di energia termica corretto per la climatizzazione estiva dell'edificio

$Q_{NC,adj,i,m}$  è il fabbisogno di energia termica corretto per la climatizzazione estiva della zona termica i-esima nel mese m-esimo

m è il mese considerato

i è la zona termica considerata

$N_H$  è il numero di mesi della stagione di climatizzazione invernale

$N_C$  è il numero di mesi della stagione di climatizzazione estiva

$N_Z$  è il numero delle zone termiche in cui è stato suddiviso l'edificio.

#### I. FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA DELLA ZONA

Il fabbisogno di energia termica dell'involucro edilizio, nel caso più generale di climatizzazione, viene quindi calcolato come somma del fabbisogno di energia termica sensibile e del fabbisogno di energia termica latente, cioè:

$$Q_{NH,adj} = Q_{NH,s,adj} + Q_{NH,l}$$



$$Q_{NC,adj} = Q_{NC,s,adj} + Q_{NC,l}$$

dove:

$Q_{NH,adj}$  è il fabbisogno di energia termica totale (sensibile + latente) corretta per la climatizzazione invernale della zona considerata

$Q_{NH,s,adj}$  è il fabbisogno di energia termica sensibile corretta per la climatizzazione invernale della zona considerata

$Q_{NH,l}$  è il fabbisogno di energia termica latente per la climatizzazione invernale della zona considerata

$Q_{NC,adj}$  è il fabbisogno di energia termica totale (sensibile + latente) corretta per la climatizzazione estiva della zona considerata

$Q_{NC,s,adj}$  è il fabbisogno di energia termica sensibile corretta per la climatizzazione estiva della zona considerata

$Q_{NC,l}$  è il fabbisogno di energia termica latente per la climatizzazione estiva della zona considerata

## II. FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA SENSIBILE PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE

Per ciascuna zona il fabbisogno convenzionale di energia termica sensibile per la climatizzazione invernale viene determinato, come segue:

$$Q_{NH,s,adj} = \max\{0; Q_{L,H,net,adj} - \eta_{G,H,adj} Q_{G,H}\} \text{ con la condizione:}$$

se  $Q_{NH,s,adj} < 1$  si pone  $Q_{NH,s,adj} = 0$

dove:

$Q_{L,H,net,adj}$  è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro

$\eta_{G,H,adj}$  è il fattore di utilizzazione corretto degli apporti energetici gratuiti

$Q_{G,H}$  è la quantità di energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare in entrata attraverso i componenti trasparenti

con:

$$Q_{L,H,net,adj} = Q_{L,H,adj} - Q_{SE,O} - Q_{SE,S} \text{ dove:}$$

$Q_{L,H,adj}$  è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante

$Q_{SE,O}$  è la quantità di energia solare assorbita dai componenti opachi e trasferita alla zona climatizzata

$Q_{SE,S}$  è la quantità di energia solare trasferita alla zona servita dall'impianto termico dovuta ad eventuali spazi soleggiati a temperatura non controllata addossati all'involucro attraverso le pareti opache di separazione.



III. FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA LATENTE PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE

Per ciascuna zona il fabbisogno convenzionale di energia termica latente per la climatizzazione invernale, dovuto cioè al controllo dell'umidità dell'aria della zona, viene determinato come segue:

$$Q_{NH,I} = -\min\{0; Q_{Wv,S,H} + Q_{Wv,V,H}\} \text{ dove:}$$

$Q_{Wv,S,H}$  è l'entalpia del vapore di acqua prodotto all'interno della zona da persone e processi e sorgenti varie

$Q_{Wv,V,H}$  è l'entalpia della quantità netta di vapore di acqua introdotta nella zona dagli scambi d'aria con l'ambiente circostante per infiltrazione, aerazione e/o ventilazione.

IV. FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA SENSIBILE PER LA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA

Per ciascuna zona il fabbisogno convenzionale di energia termica sensibile per la climatizzazione estiva viene determinato, come segue:

$$Q_{NC,s,adj} = \max\{0; Q_{G,C} - \eta_{L,C,adj} Q_{L,C,net,adj}\} \text{ con la condizione:}$$

se  $Q_{NC,s,adj} < 1$  si pone  $Q_{NC,s,adj}=0$

dove:

$Q_{G,C}$  è la quantità di energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare in entrata attraverso i componenti trasparenti

$\eta_{L,C,adj}$  è il fattore di utilizzazione corretto delle dispersioni termiche

$Q_{L,C,net,adj}$  è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro

con:

$$Q_{L,C,net,adj} = Q_{L,C,adj} - Q_{SE,O} - Q_{SE,S} \text{ dove:}$$

$Q_{L,C,adj}$  è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante

V. FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA LATENTE PER LA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA

Per ciascuna zona il fabbisogno convenzionale di energia termica latente per la climatizzazione estiva, dovuto cioè al controllo dell'umidità dell'aria della zona, viene determinato come segue:

$$Q_{NC,I} = \max\{0; Q_{Wv,S,C} + Q_{Wv,V,C}\}$$



#### VI. ENERGIA SCAMBIATA PER TRASMISSIONE E VENTILAZIONE

La quantità di energia scambiata per trasmissione e per ventilazione tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante,  $Q_{L,adj}$ , si calcola allo stesso modo sia per il riscaldamento che per il raffrescamento, ed è data da:

$$Q_{L,adj} = Q_T + Q_{V,adj} \text{ dove:}$$

$Q_T$  è la quantità di energia dispersa per trasmissione tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante

$Q_{V,adj}$  è la quantità di energia corretta trasferita per ventilazione, considerando anche la ventilazione meccanica, in particolare con pre-riscaldamento o pre-raffrescamento e recupero termico o entalpico, tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante.

#### VII. APPORTI MENSILI GRATUITI DI CALORE

Gli apporti mensili di calore gratuiti, interni e solari, nella zona climatizzata, devono essere calcolati mediante la seguente relazione:

$$Q_G = Q_I + Q_{SI} + Q_{SI,S} \text{ dove:}$$

$Q_G$  è la quantità di energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare

$Q_I$  è la quantità di energia gratuita dovuta ad apparecchiature elettriche e persone

$Q_{SI}$  è la quantità di energia gratuita dovuta alla radiazione solare entrante attraverso le superfici trasparenti rivolte direttamente verso l'ambiente esterno

$Q_{SI,S}$  è la quantità di energia gratuita dovuta alla radiazione solare entrate attraverso le superfici trasparenti rivolte verso un ambiente addossato all'involucro.

#### VIII. ENERGIA SCAMBIATA PER TRASMISSIONE

La quantità di energia scambiata per trasmissione tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante,  $Q_T$ , è data da:

$$Q_T = H_T \Delta\theta \Delta t + Q_{T,S} \text{ dove:}$$

$H_T$  è il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante

$\Delta\theta$  è la differenza tra la temperatura interna prefissata della zona termica considerata,  $\theta_i$ , e il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna,  $\theta_e$

$\Delta t$  è la durata del mese considerato, calcolato come  $\Delta t = \frac{24 N}{1000}$  dove N è il numero dei giorni del mese considerato

$Q_{T,S}$  è la quantità totale di energia trasferita per trasmissione attraverso uno spazio soleggiato adiacente alla zona climatizzata considerata

#### Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria

I valori medi mensili delle temperature medie giornaliere dell'aria esterna per i capoluoghi di provincia,  $\theta_e^r$  sono riportati in tabella 2.



Comune	Alt. [m]	Ott. [°C]	Nov. [°C]	Dic. [°C]	Gen. [°C]	Feb. [°C]	Mar. [°C]	Apr. [°C]	Mag. [°C]	Giu. [°C]	Lug. [°C]	Ago. [°C]	Set. [°C]
Bergamo	249	14,2	8,6	4,5	3,1	4,9	8,9	13,3	17,0	21,3	23,7	23,2	19,9
Brescia	149	14,0	7,8	3,5	1,5	4,2	9,3	13,5	17,7	22,0	24,4	23,7	19,9
Como	201	13,7	8,4	4,4	2,9	5,0	8,8	12,7	16,7	21,1	23,6	23,1	19,6
Cremona	45	13,4	7,2	2,5	0,7	3,3	8,4	13,3	17,4	21,9	24,3	23,4	19,7
Lecco	214	14,3	9,2	5,3	3,9	5,7	9,6	13,3	16,0	20,1	22,6	22,1	19,2
Lodi	87	13,4	7,3	2,5	0,9	3,3	8,6	13,5	17,8	22,5	24,5	23,4	19,6
Mantova	19	14,0	8,0	2,9	1,0	3,3	8,4	13,3	17,4	22,0	24,3	23,6	20,0
Milano	122	14,0	7,9	3,1	1,7	4,2	9,2	14,0	17,9	22,5	25,1	24,1	20,4
Monza e Brianza	122	14,0	7,9	3,1	1,7	4,2	9,2	14,0	17,9	22,5	25,1	24,1	20,4
Pavia	77	13,3	7,1	2,3	0,5	3,2	8,4	12,9	17,1	21,3	23,5	22,7	19,3
Sondrio	307	12,4	6,6	1,7	0,5	3,3	8,2	12,6	16,0	20,0	22,3	21,4	18,1
Varese	382	11,2	5,3	1,9	1,2	1,9	6,0	10,4	14,0	17,7	20,5	19,6	16,4

Tabella 2. Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna

Per la definizione della temperatura media giornaliera  $\theta_e$  dell'aria esterna nel comune considerato, nel nostro caso Erba, si procede identificando il capoluogo di provincia di appartenenza del comune, ovvero Como e si apporta una correzione al valore della temperatura del capoluogo di riferimento per tenere conto della differenza di altitudine tra questo e il comune considerato, secondo la relazione:

$$\theta_e = \theta_e^r - (z - z^r)\delta \quad \text{dove:}$$

$\theta_e$  è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna

$\theta_e^r$  è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera dell'aria esterna nel capoluogo di riferimento

$z$  è l'altitudine s.l.m. del comune considerato

$z^r$  è l'altitudine s.l.m. del capoluogo di riferimento

$\delta$  è il gradiente verticale di temperatura, il cui valore è assunto pari a 1/178

#### Coefficiente di scambio termico per trasmissione

Il coefficiente di scambio termico per trasmissione  $H_T$ , che tiene conto delle perdite o guadagni di calore attraverso le strutture che separano la zona termica considerata dall'ambiente circostante, viene calcolato secondo l'equazione riportata in seguito. Le diverse condizioni di temperatura, a cui si può trovare l'ambiente circostante, vengono valutate applicando il fattore correttivo  $F_T$ .

$$H_T = \sum_k A_{L,k} U_{C,k} F_{T,k} \quad \text{dove:}$$

$A_{L,k}$  è l'area lorda della struttura k-esima, che separa la zona climatizzata dall'ambiente circostante

$U_{C,k}$  è la trasmittanza termica media, eventualmente corretta, della struttura k-esima, che separa la zona climatizzata dall'ambiente circostante

$F_{T,k}$  è il fattore correttivo da applicare a ciascuna struttura k-esima così da tener conto delle diverse condizioni di temperatura degli ambienti con cui essi sono a contatto. Nel caso di ambienti circostanti con temperatura pari alla temperatura esterna  $F_{T,k}$  si pone pari a 1.

$k$  è il numero delle strutture disperdenti



### Serramenti trasparenti

La trasmittanza termica di serramenti singoli  $U_w$ , si calcola mediante la relazione:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_t U_t + L_g \Psi_g}{A_g + A_t} \text{ dove:}$$

$A_g$  è l'area del vetro

$U_g$  è la trasmittanza termica del vetro

$A_t$  è l'area del telaio

$U_t$  è la trasmittanza termica del telaio

$L_g$  è il perimetro del vetro

$\Psi_g$  è la trasmittanza termica lineare del vetro.

Nel nostro caso si sono scelti serramenti a triplo vetro per le vetrate prospicienti la piazza mentre per le finestre sono stati adottati serramenti con una singola vetrocamera. In tabella 3 si riportano i valori della trasmittanza termica dei serramenti scelti.

Elemento tecnico	Trasmittanza
	[W/m <sup>2</sup> K]
Singola vetrocamera	1,200
Doppia vetrocamera	0,880

**Tabella 3. Valori di trasmittanza termica dei serramenti scelti**

### IX. ENERGIA SCAMBIATA PER VENTILAZIONE, AERAZIONE E INFILTRAZIONE

Per ventilazione si intende il ricambio dell'aria negli ambienti o tramite l'impiego di ventilatori, quindi ventilazione meccanica, o tramite la presenza di aperture nell'involucro edilizio, normalmente non occluse, che attivino ventilazione naturale principalmente per tiraggio termico; con aerazione si intende il ricambio d'aria negli ambienti per apertura e chiusura manuale delle finestre; con infiltrazione si intendono i ricambi d'aria non desiderati dovuti alla non perfetta impermeabilità dell'involucro e alla presenza di differenze di pressione tra esterno e interno dovute all'azione del vento e di differenze di temperatura.

L'energia termica di riferimento scambiata convenzionalmente per ventilazione naturale, aerazione ed infiltrazione,  $Q_v$ , è data da:

$$Q_v = H_v \Delta \theta \Delta t \text{ dove:}$$

$H_v$  è il coefficiente di scambio termico di riferimento per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante.

In presenza di ventilazione meccanica, cioè di un sistema impiantistico che impone i ricambi d'aria, in particolare con recupero entalpico, per considerare l'effetto della ventilazione meccanica sull'efficienza complessiva del sistema, occorre calcolare anche l'energia termica corretta scambiata per ventilazione meccanica,  $Q_{v,adj}$ :

$$Q_{v,adj} = H_{v,adj} \Delta \theta \Delta t \text{ dove:}$$

$H_{v,adj}$  è il coefficiente di scambio termico corretto per ventilazione meccanica, in particolare con presenza di recuperatore entalpico, tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante.





### Coefficiente di scambio corretto per ventilazione, aerazione e infiltrazione

Il coefficiente di scambio termico corretto per ventilazione,  $H_{V,adj}$ , si determina mediante la seguente relazione:

$$H_{V,adj} = \rho_a c_a (\sum_k \dot{v}_{a,k,adj} b_{v,k}) \text{ dove:}$$

$\rho_a c_a$  è la capacità termica volumica dell'aria, pari a  $0,34 \text{ Wh/m}^3\text{K}$

$\dot{v}_{a,k,adj}$  è la portata d'aria media giornaliera k-esima dovuta a ventilazione naturale o aerazione e/o infiltrazione della zona o ventilazione meccanica

$b_{v,k}$  è il fattore di correzione

k è il singolo e specifico ricambio d'aria dovuto o alla ventilazione meccanica

### Portata di ventilazione media giornaliera

All'interno di un edificio, allo scopo di assicurare sufficienti condizioni sia igieniche sia di benessere termoigrometrico, è necessario garantire una portata minima di aria esterna, chiamata in questo contesto portata minima di ventilazione o aerazione, che serve a diluire e mantenere ad un livello accettabile la concentrazione degli inquinanti rilasciati nell'ambiente da persone e cose. Inevitabilmente questo rinnovo d'aria negli ambienti può determinare un incremento dell'energia scambiata con l'esterno, ma ciò è necessario per garantire la salubrità e la qualità dell'aria. Le portate adottate nel seguito risentono di tale necessità più che di quella connessa alla minimizzazione degli scambi termici per ventilazione.

Nel caso di ventilazione meccanica comprensiva delle eventuali infiltrazioni, sia per sistemi a semplice flusso che a doppio flusso, le portate d'aria medie giornaliere di ventilazione della zona vengono calcolate in modo semplificato e convenzionale come segue:

$$\dot{v}_{a,k,adj} = \dot{v}_{des} \text{ con:}$$

$$\dot{v}_{des} \geq (\dot{v}_{min} i_s A) \text{ dove:}$$

$\dot{v}_{des}$  è la portata d'aria di progetto

$\dot{v}_{min}$  è la portata specifica d'aria esterna minima richiesta nel periodo di occupazione dei locali, riportata in tabella 17

$i_s$  è l'indice di affollamento, riportato in tabella 17

A è la superficie utile di pavimento

### Fattore di correzione $b_{v,k}$

Il fattore di correzione per la differenza di temperatura effettivamente presente nel k-esimo flusso d'aria,  $b_{v,k}$ , nel caso di ventilazione meccanica a doppio flusso per sistemi con recupero entalpico, viene calcolato nel seguente modo:

$$b_{v,k} = 1 - f_r \eta_{R,eff} \text{ dove:}$$

$\eta_{R,eff}$  è l'efficienza effettiva del recuperatore di calore, pari al 71%, riportata nel paragrafo 4 del capitolo relativo al dimensionamento degli impianti

$f_r$  è la percentuale di portata d'aria esterna che passa attraverso il recuperatore di calore, pari al 100%



X. APPORTI DI CALORE DOVUTI AD APPARECCHIATURE ELETTRICHE E PERSONE

Qualunque calore generato all'interno della zona climatizzata contribuisce ad accrescere gli apporti di calore interni,  $Q_i$ .

Tra le principali sorgenti di calore interne vi sono gli apporti dovuti al metabolismo degli occupanti ed il calore sprigionato dalle apparecchiature elettriche e di illuminazione.

In edifici a destinazione d'uso residenziale, gli apporti di calore dovuti alla presenza di queste sorgenti sono ricavati, in maniera convenzionale, mediante la seguente relazione:

$$Q_I = \dot{Q}_a \Delta t \text{ dove:}$$

$\dot{Q}_a$  è il valore medio globale degli apporti interni, riportato in tabella 4.

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Apporti medi globali $\dot{Q}_a$ [W]
E.1 (1); E.1 (2)	Edifici residenziali con $A \leq 170 \text{ m}^2$	$5,294 \cdot A - 0,01557 \cdot A^2$
E.1 (1); E.1 (2)	Edifici residenziali con $A > 170 \text{ m}^2$	450

Tabella 4. Valori globali degli apporti interni

XI. APPORTI SOLARI ATTRAVERSO LE STRUTTURE TRASPARENTI ESTERNE

L'energia dovuta agli apporti solari sulle superfici trasparenti rivolte verso l'ambiente esterno,  $Q_{SI}$ , viene calcolata prendendo in considerazione l'effetto di schermature mobili permanenti, cioè integrate nell'involucro edilizio e non liberamente montabili e smontabili dall'utente, come:

$$Q_{SI} = N \sum_j \left[ \bar{H}_{S,j} \left( \sum_i A_{L,i} (1 - F_{F,i}) F_{S,i,j} F_{(sh+gl),i,j} g_{\perp,i} \right) \right] \text{ dove:}$$

$N$  è il numero dei giorni del mese considerato

$\bar{H}_{S,j}$  è l'irradiazione globale giornaliera media mensile per il comune di Como incidente sulla superficie trasparente con esposizione,  $j$ , riportata in tabella 5.

Radiazione	N	NE-NO	E-O	SE-SO	S	H
Mese	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Gennaio	0,50	0,50	1,00	1,80	2,30	1,30
Febbraio	0,70	0,80	1,40	2,10	2,50	1,90
Marzo	1,00	1,40	2,30	2,80	3,00	3,10
Aprile	1,50	2,20	3,00	3,20	2,90	4,30
Maggio	2,00	2,70	3,30	3,10	2,60	5,00
Giugno	2,50	3,10	3,70	3,20	2,60	5,70
Luglio	2,40	3,30	4,00	3,60	2,90	6,10
Agosto	1,70	2,60	3,40	3,40	2,90	5,00
Settembre	1,10	1,70	2,60	3,10	3,00	3,60
Ottobre	0,80	1,10	1,90	2,70	3,20	2,50
Novembre	0,50	0,60	1,10	1,80	2,20	1,40
Dicembre	0,40	0,40	0,90	1,60	2,10	1,10

Tabella 5. Valori della radiazione globale giornaliera media mensile per il comune di Como



$A_{L,i}$  è la superficie lorda del serramento vetrato,  $i$ , assunta pari a quella dell'apertura realizzata sulla parete

$(1-F_{F,i})$  è il coefficiente di riduzione dovuto al telaio per il serramento  $i$ , pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'unità vetrata, assunto pari al valore convenzionale di 0,80

$F_{S,i,j}$  è il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura per la superficie  $i$ , con esposizione  $j$ , da calcolare con l'equazione riportata di seguito:

$$F_{S,i,j} = F_{h,i,j} \min(F_{o,i,j}; F_{f,i,j}) \text{ dove:}$$

$F_{h,i,j}$  è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad ostruzioni esterne per il serramento  $i$ , con esposizione  $j$ ,

$F_{o,i,j}$  è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti orizzontali per il serramento  $i$ , con esposizione  $j$ ,

$F_{f,i,j}$  è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti verticali per il serramento  $i$ , con esposizione  $j$

Nella tabella di seguito sono riportati i valori di  $F_{S,i,j}$  per la vetrata e la finestra scelte.

	Vetrata	Finestre		
	$F_S$	$F_h$	$F_o$	$F_S$
	E-O	E-O	E-O	E-O
Gennaio	0,88	0,54	0,88	0,48
Febbraio	0,83	0,63	0,83	0,52
Marzo	0,83	0,66	0,83	0,55
Aprile	0,80	0,69	0,80	0,55
Maggio	0,79	0,69	0,79	0,55
Giugno	0,78	0,72	0,78	0,56
Luglio	0,78	0,71	0,78	0,55
Agosto	0,79	0,71	0,79	0,56
Settembre	0,83	0,64	0,83	0,53
Ottobre	0,85	0,63	0,85	0,54
Novembre	0,87	0,58	0,87	0,50
Dicembre	0,90	0,51	0,90	0,46

**Tabella 6. Valori di  $F_S$  per i serramenti scelti**

$F_{(sh+gl),i,j}$  è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili o fisse complanari al serramento  $i$ , con esposizione  $j$ , definito dalla formula riportata di seguito, ovvero di correzione per angolo di incidenza medio giornaliero diverso da  $0^\circ$  (incidenza normale), giacchè tiene esplicitamente conto della riduzione dovuta all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata, sia per il serramento con schermature che per il serramento senza schermature.

$$F_{(sh+gl),i,j} = f_{shd,j} F_{sh,i,j} + (1 - f_{shd,j}) F_{gl,i} \text{ dove:}$$

$f_{shd,j}$  è la frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata, pesata sull'irradianza solare incidente, ed in funzione della sua esposizione  $j$ ; i valori di riferimento sono riportati nella tabella 7 e sono assunti nulli nel calcolo del fabbisogno energetico invernale.



Mese	Nord	Est	Sud	Ovest
Gennaio	0,00	0,52	0,81	0,39
Febbraio	0,00	0,48	0,82	0,55
Marzo	0,00	0,66	0,81	0,63
Aprile	0,00	0,71	0,74	0,62
Maggio	0,00	0,71	0,62	0,64
Giugno	0,00	0,75	0,56	0,68
Luglio	0,00	0,74	0,62	0,73
Agosto	0,00	0,75	0,76	0,72
Settembre	0,00	0,73	0,82	0,67
Ottobre	0,00	0,72	0,86	0,60
Novembre	0,00	0,62	0,84	0,30
Dicembre	0,00	0,50	0,86	0,42

**Tabella 7. Fattore di riduzione  $f_{shd}$  per le schermature**

$F_{sh,i,j}$  è il fattore di riduzione degli apporti solari dovuto all'effetto di schermature mobili permanenti, cioè integrate nell'involucro edilizio e non liberamente montabili e smontabili dall'utente, calcolato secondo l'equazione seguente, comprensivo della riduzione dovuta all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata

$$F_{sh,i,j} = \frac{g_{(sh+gl),b,i} f_{b,j} + g_{(sh+gl),d,i} (1 - f_{b,j})}{g_{\perp,i}} \quad \text{dove:}$$

$g_{(sh+gl),b,i}$  è la trasmittanza di energia solare diretta totale dell'i-esimo serramento in presenza di sistemi schermanti, il cui calcolo viene effettuato in accordo a quanto indicato al punto successivo

$f_{b,j}$  è il fattore di peso dell'irradiazione diretta rispetto all'irradiazione totale sulla superficie con esposizione j, valori di riferimento convenzionali da impiegare per la Regione Lombardia sono riportati nella tabella 8.

$f_b$ (mese, esposizione)	Sud	Est/Ovest	Nord	Orizzontale
Gennaio	0,75	0,50	0	0,40
Febbraio	0,70	0,50	0	0,50
Marzo	0,65	0,55	0	0,55
Aprile	0,55	0,55	0,10	0,60
Maggio	0,40	0,55	0,25	0,60
Giugno	0,35	0,55	0,30	0,65
Luglio	0,45	0,60	0,35	0,70
Agosto	0,50	0,60	0,15	0,65
Settembre	0,65	0,60	0	0,60
Ottobre	0,75	0,55	0	0,55
Novembre	0,75	0,50	0	0,45
Dicembre	0,75	0,50	0	0,40

**Tabella 8. Fattori di peso  $f_b$  della radiazione solare diretta sulla totale**

$g_{(sh+gl),d,i}$  è la trasmittanza di energia solare diffusa totale dell'i-esimo serramento in presenza di sistemi schermanti. Il calcolo viene effettuato in accordo a quanto indicato al punto successivo  
 $g_{\perp,i}$  è la trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento, i, riportati in tabella 9.



	g
	[%]
Vetrata	0,25
Finestra	0,42

**Tabella 9. Valori di trasmittanza dell'energia solare totale**

$F_{g,i}$  e il fattore di correzione che tiene conto della dipendenza angolare delle proprietà ottiche della superficie trasparente  $i$ , quando non è schermata, ed è desumibile per diverse tipologie di vetrate dalla tabella 10

$F_{g,i}$ (trasmittanza termica, fattore solare)	$g_{\perp} < 0,5$	$0,5 \leq g_{\perp} < 0,7$	$0,7 \leq g_{\perp} < 0,9$	$g_{\perp} \geq 0,9$
$U_g \geq 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,85	0,85	0,90	0,95
$1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \leq U_g < 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,80	0,85	0,90	0,90
$U_g < 1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,80	0,85	0,85	0,90

**Tabella 10. Valori dei coefficienti correttivi  $F_{g,i}$  per diverse tipologie di vetrate**

### Calcolo della trasmittanza di energia solare totale, diretta e diffusa, in presenza di sistemi schermanti

La valutazione della trasmittanza di energia solare totale di un componente di involucro trasparente dotato di sistema schermante viene effettuata in accordo alla norma UNI EN 13363-1:2008, per quanto riguarda la componente diretta,  $g_{(sh+gl),b}$ . Per il calcolo della componente diffusa,  $g_{(sh+gl),d}$ , si procede in modo analogo alla diretta modificando opportunamente i fattori di trasmissione e riflessione della schermatura. Le tipologie trattate da tale norma e di seguito riportate, sono limitate al caso di elementi schermanti disposti sul piano parallelo a quello del sistema trasparente e del seguente tipo:

- tende avvolgibili
- tende veneziane
- persiane
- frangisole a lamelle orizzontali o verticali

Per il calcolo della prestazione di tali sistemi, ad esclusione del primo, la trasmittanza di energia solare totale, comprendente oltre all'energia della radiazione solare entrante attraverso il sistema trasparente anche l'energia solare assorbita dal sistema e trasferita termicamente all'interno, va distinta facendo riferimento alle componenti diretta,  $g_{(sh+gl),b}$ , e diffusa,  $g_{(sh+gl),d}$ , essendo le prestazioni dei sistemi a lamelle significativamente differenti per le due tipologie di radiazione incidente. In ogni caso i valori della trasmittanza tengono implicitamente conto della dipendenza angolare giornaliera della radiazione diretta incidente, anche se risultano riferite alla trasmittanza di energia solare totale normale del sistema vetrato da queste schermato,  $g_{\perp}$ .

Nel nostro caso sono state adottate schermature solari integrate nella vetrocamera con intercapedine non ventilata, così come riportato in figura 1.



Figura 1. Schematizzazione della schermatura solare integrata con intercapedine non ventilata

Le trasmittanze di energia solare totale della finestra in presenza di sistema schermante integrato, sono calcolate con le seguenti formule:

$$g_{(sh+gl),b} = g_{\perp} \tau_{e,b} + g_{\perp} (\alpha_{e,b} + (1 - g_{\perp}) \rho_{e,b}) \frac{G}{G_3}$$

$$g_{(sh+gl),d} = g_{\perp} \tau_{e,d} + g_{\perp} (\alpha_{e,d} + (1 - g_{\perp}) \rho_{e,d}) \frac{G}{G_3}$$

dove:

$g_{\perp}$  è la trasmittanza dell'energia solare totale della vetrata senza l'inserimento della schermatura solare

$G$  è definita come  $G = \left( \frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_3} \right)^{-1}$

$G_3$  è assunto da normativa pari a  $3 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\tau_{e,b/d}$  è il fattore di trasmissione solare del dispositivo schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d), ricavabili dalle equazioni:

$$\tau_{e,b} = 0,65 \tau_{e,b,\perp} + 0,15 \rho_{e,b,\perp}$$

$$\tau_{e,d} = 0,65 \tau_{e,d,\perp} + 0,15 \rho_{e,d,\perp}$$

dove:

$\tau_{e,b,\perp}$  è la trasmittanza solare della lamella ad incidenza ortogonale sulla superficie della lamella; in assenza di dati certi forniti dal produttore si possono desumere dalla tabella 11

$\rho_{e,b,\perp}$  è la riflettanza solare della lamella ad incidenza quasi normale sulla superficie della lamella; in assenza di dati certi forniti dal produttore si possono desumere dalla tabella 11

Valori di $\tau_{e,b,\perp}$ in funzione della trasparenza della schermatura		$\rho_{e,b,\perp}$				$\alpha_{e,b,\perp}$			
		Bianco	Pastello	Scuro	Nero	Bianco	Pastello	Scuro	Nero
Opaca	0,0	0,7	0,5	0,3	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
Mediamente traslucida o perforata	0,2	0,6	0,4	0,2	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7
Altamente traslucida o perforata	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Tabella 11. Valori convenzionali di  $\tau_{e,b,\perp}$ ,  $\rho_{e,b,\perp}$  e  $\alpha_{e,b,\perp}$



$\alpha_{e,b/d}$  è la frazione di energia solare assorbita dal componente schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d), ricavabili dalle equazioni:

$$\alpha_{e,b} = 1 - \tau_{e,b} - \rho_{e,b}$$

$$\alpha_{e,d} = 1 - \tau_{e,d} - \rho_{e,d}$$

dove:

$\rho_{e,b/d}$  è il fattore di riflessione solare del dispositivo schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d), ricavabili dalle equazioni:

$$\rho_{e,b} = \rho_{e,b,\perp}(0,75 + 0,70 \tau_{e,b,\perp})$$

$$\rho_{e,d} = \rho_{e,d,\perp}(0,75 + 0,70 \tau_{e,d,\perp})$$

In tabella 12 sono contenuti i parametri di trasmissione, riflessione e assorbimento di progetto mentre in tabella 13 sono infine riportati i valori di progetto necessari per il calcolo degli apporti solari attraverso la vetrata.

$\tau_{eb}$	$\rho_{eb}$	$\alpha_{eb}$	$\tau_{ed}$	$\rho_{ed}$	$\alpha_{ed}$
0,05	0,225	0,730	0,332	0,158	0,511

**Tabella 12. Valori di progetto di  $\tau_{e,b/d}$ ,  $\rho_{e,b/d}$  e  $\alpha_{e,b/d}$**

$U_g$	$g$	$G$	$g_{(sh+gl),b}$	$g_{(sh+gl),d}$	$F_{sh}$	$F_{gl}$	$F_{(sh+gl)}$
[W/m <sup>2</sup> K]	[%]	[W/m <sup>2</sup> K]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0,60	0,350	0,500	0,067	0,152	0,312	0,800	0,610

**Tabella 13. Determinazione del valore di progetto  $F_{(sh+gl),i,j}$  per la vetrata**

Nel caso delle finestre, non avendo queste sistemi di schermatura adottati come per il caso appena visto delle vetrate, il valore  $F_{(sh+gl),i,j}$  viene considerato pari a 1.

## XII. APPORTI SOLARI MENSILI ATTRAVERSO LE STRUTTURE OPACHE ESTERNE

Gli apporti solari mensili attraverso le strutture opache esterne sono definiti dalla seguente relazione:

$$Q_{SE,O} = N \sum_j \bar{H}_{s,j} \left( \sum_i \alpha_i A_{L,i} F_S F_{er,i} \frac{U_i}{h_e} \right) \text{ dove:}$$

$Q_{SE,O}$  è la quantità di energia solare assorbita dalle pareti opache esterne e trasferita all'ambiente climatizzato

$\alpha_i$  è il fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della parete opaca i, rivolta verso l'esterno, desumibile dalla tabella 14



Tipo di colorazione della parete	$\alpha$	Tipo di parete	$F_{er}$
Chiaro	0,3	Orizzontale	0,8
Medio	0,6	Inclinata	0,9
Scuro	0,9	Verticale	1,0

**Tabella 14. Valori del fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della parete opaca rivolta verso l'esterno,  $\alpha$ , e coefficiente di riduzione che tiene conto dell'incidenza del flusso radiativo emesso dalla superficie verso la volta celeste,  $F_{er}$**

$A_{L,i}$  è la superficie lorda della parete opaca  $i$ , rivolta verso l'esterno

$F_S$  è il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura, così come definito dall'equazione già utilizzata per il caso delle strutture trasparenti:

$$F_{S,i,j} = F_{h,i,j} \min(F_{o,i,j}; F_{f,i,j})$$

$F_{er,i}$  è il coefficiente di riduzione che tiene conto dell'incidenza del flusso radiativo emesso dalla superficie  $i$ , verso la volta celeste, desumibile dalla tabella 14

$U_i$  è la trasmittanza termica della parete opaca  $i$ , rivolta verso l'esterno e riportate in tabella 15

Struttura	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]
COO 01	0,250
COO 02	0,149
COO 03	0,145
COO 04	0,143
COO 05	0,149
CVO 01	0,149
CVO 02	0,136
CVO 03	0,146
CVO 04	0,131

**Tabella 15. Valori delle trasmittanze di progetto delle chiusure opache**

$h_e$  è il coefficiente di scambio termico superficiale esterno, pari a 25 W/m<sup>2</sup>K

### XIII. FATTORE DI UTILIZZAZIONE DEGLI APPORTI GRATUITI PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE

Il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti per la climatizzazione invernale corretto  $\eta_{G,H,adj}$ , è funzione del rapporto apporti/perdite corretto,  $\gamma_{H,adj}$  e di un parametro numerico  $a_{H,adj}$  che dipende dalla costante di tempo della zona, in accordo con le equazioni sotto riportate:

nel nostro caso si verifica che:  $\gamma_{H,adj} > 0$  e  $\gamma_{H,adj} \neq 1$  quindi  $\eta_{G,H,adj}$  sarà da determinare tramite la relazione:

$$\eta_{G,H,adj} = \frac{1 - \gamma_{H,adj}^{a_{H,adj}}}{1 - \gamma_{H,adj}^{a_{H,adj} + 1}}$$

con:  $\gamma_{H,adj} = \frac{Q_{G,H}}{Q_{L,H,net,adj}}$

dove:

$\gamma_{H,adj}$  è il rapporto apporti/perdite corretto nel mese





$Q_{G,H}$  è la quantità di energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare entrante attraverso le superfici trasparenti nel periodo di riscaldamento

$Q_{L,H,net,adj}$  è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione, tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante al netto dei contributi solari sulle superfici opache, e da eventuali spazi soleggiati a temperatura non controllata addossati all'involucro nel periodo di riscaldamento

$a_{H,adj}$  è un parametro numerico calcolato come  $a_{H,adj} = a_{0,H} + \frac{\tau_{H,adj}}{\tau_{0,H}}$  dove:

I valori di  $a_{0,H}$  e  $\tau_{0,H}$  sono definiti dalla norma UNI TS 11300-1 e ai fini della presente procedura di calcolo, funzionamento continuo dell'impianto sulle 24 ore, calcolo mensile, valgono rispettivamente 1 e 15 ore.

Pertanto l'equazione può essere scritta come  $a_{H,adj} = 1 + \frac{\tau_{H,adj}}{15}$  dove:

$\tau_{H,adj}$  è la costante di tempo corretta calcolata come segue:

$$\tau_{H,adj} = \frac{C_m A_{tot}}{3,6 H_{L,H,adj}} \quad \text{con} \quad H_{L,H,adj} = \frac{Q_{T,H} + Q_{V,H,adj}}{\Delta\theta \Delta t}$$

dove:

$C_m$  è la capacità termica per unità di superficie interna, calcolata come:

$$C_m = \frac{\sum_{j=1}^n (A C')_j}{\sum_{j=1}^n (A)_j} \quad \text{dove:}$$

$C'$  è la capacità termica areica per unità di superficie di ciascun componente dell'elemento, data dal prodotto  $C'_j = m_j c_j$  dove:

$m$  è la massa termica areica del componente dell'elemento

$c$  è la capacità termica massica del materiale costituente il componente

Nell'ipotesi di componente costituito da più materiali si considera la capacità termica massica del materiale rivolto verso l'ambiente interno.

$A_{tot}$  è l'area totale interna, cioè la somma delle superfici nette dei componenti opachi che delimitano una zona climatizzata

$Q_{T,H}$  è la quantità totale di energia trasferita mensilmente per trasmissione tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante durante il periodo di riscaldamento

$Q_{V,H,adj}$  è la quantità di energia corretta trasferita per ventilazione, aerazione e infiltrazione, tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante durante il periodo di riscaldamento

#### XIV. FATTORE DI UTILIZZAZIONE DEGLI APPORTI GRATUITI PER LA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA

Il fattore di utilizzazione delle perdite per il calcolo del fabbisogno di raffrescamento,  $\eta_{L,C,adj}$ , è funzione del rapporto apporti/perdite corretto,  $\gamma_{C,adj}$  e di un parametro numerico  $a_{C,adj}$  che dipende dalla costante di tempo della zona, in accordo con le equazioni sotto riportate:

nel nostro caso si verifica che:  $\gamma_{C,adj} > 0$  e  $\gamma_{C,adj} \neq 1$  quindi  $\eta_{L,C,adj}$  sarà da determinare tramite la relazione:

$$\eta_{L,C,adj} = \frac{1 - \gamma_{C,adj}^{-a_{C,adj}}}{1 - \gamma_{C,adj}^{-(a_{C,adj} + 1)}}$$

$$\text{con: } \gamma_{C,adj} = \frac{Q_{G,H}}{Q_{L,C,net,adj}}$$



dove:

$\gamma_{C,adj}$  è il rapporto apporti/perdite corretto nel mese

$Q_{G,C}$  è la quantità di energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare entrante attraverso le superfici trasparenti nel periodo di raffrescamento

$Q_{L,C,net,adj}$  è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione, tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante al netto dei contributi solari sulle superfici opache, e da eventuali spazi soleggiati a temperatura non controllata addossati all'involucro nel periodo di raffrescamento

$a_{C,adj}$  è un parametro numerico calcolato come  $a_{C,adj} = a_{0,C} + \frac{\tau_{C,adj}}{\tau_{0,C}}$  dove:

I valori di  $a_{0,C}$  e  $\tau_{0,C}$  sono definiti dalla norma UNI TS 11300-1 e ai fini della presente procedura di calcolo, funzionamento continuo dell'impianto sulle 24 ore, calcolo mensile, valgono rispettivamente 1 e 15 ore.

Pertanto l'equazione può essere scritta come  $a_{C,adj} = 1 + \frac{\tau_{C,adj}}{15}$  dove:

$\tau_{C,adj}$  è la costante di tempo corretta calcolata come segue:

$$\tau_{C,adj} = \frac{C_m A_{tot}}{3,6 H_{L,C,adj}} \quad \text{con} \quad H_{L,C,adj} = \frac{Q_{T,C} + Q_{V,C,adj}}{\Delta\theta \Delta t}$$

dove:

$Q_{T,C}$  è la quantità totale di energia trasferita mensilmente per trasmissione tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante durante il periodo di raffrescamento

$Q_{V,C,adj}$  è la quantità di energia corretta trasferita per ventilazione, aerazione e infiltrazione, tra la zona climatizzata e l'ambiente circostante durante il periodo di raffrescamento

#### XV. ENTALPIA DEL VAPORE D'ACQUA PRODOTTO E IMMESSO NELLA ZONA

Per ciascuna zona, se servita da un impianto di climatizzazione che controlla l'umidità dell'aria, è necessario calcolare il fabbisogno convenzionale di energia termica latente.

L'entalpia del vapore d'acqua prodotto all'interno della zona termica dagli occupanti, da processi e sorgenti varie si calcola, sia per il periodo di riscaldamento sia per quello di raffrescamento come:

$$Q_{Wv,S} = (G_{v,per} + G_{v,p}) h_v \Delta t \quad \text{dove:}$$

$Q_{Wv,S}$  è l'entalpia del vapore di acqua prodotto all'interno della zona da persone e processi e sorgenti varie

$G_{v,per}$  è la portata massica media giornaliera di vapore d'acqua dovuta alla presenza di persone,

$G_{v,p}$  è la portata massica media giornaliera di vapore d'acqua dovuta alla presenza di apparecchiature,

$h_v$  è l'entalpia specifica del vapore di acqua convenzionalmente posta pari a 0,965

Il valore della portata massica media giornaliera dovuta alla presenza di persone si ricava con la seguente relazione:

$$G_{v,per} = g_{v,per} i_s A f_{G,per} \quad \text{dove:}$$

$G_{v,per}$  è la portata massica media giornaliera di vapore d'acqua dovuta alla presenza di persone,

$g_{v,per}$  è la portata massica specifica di progetto ricavabile dalla tabella 16



Attività	Applicazioni	$\dot{g}_v$ [g/h pers.]
Seduto a riposo	teatro	45
Seduto in attività leggera	ufficio, appartamento	65
Seduto in attività media	ufficio, appartamento	80
Seduto al ristorante	ristorante	115
In piedi, lavoro leggero	negozio	80
In piedi, lavoro medio	officina	200
In piedi, lavoro pesante	officina, cantiere	410
In movimento	banca	100
Danza moderata	sala da ballo	230
In cammino a 1,3 m/s	corridoi	265
Attività atletica	palestra, discoteca	450

Tabella 16. Valori medi della portata di vapore  $\dot{g}_{v,per}$  dovuti alla presenza di persone

$i_s$  è l'indice di affollamento ricavabile dalla tabella 17

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	$i_s$	$\dot{V}_{min}$
E.1 (1); E.1 (2)	Edifici residenziali	0,04	39,6
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensioni ed attività similari	0,05	39,6
E.2	Edifici adibiti ad uffici ed assimilabili	0,12	39,6
E.3	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche o case di cura ed assimilabili	0,08	39,6
E.4	Edifici adibiti ad attività ricreative, associative e di culto	1,00	28,8
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali ed assimilabili	0,25	36,0
E.6	Edifici adibiti ad attività sportive	0,70	36,0
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche di tutti i livelli e assimilabili	0,50	21,6
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali ed assimilabili	0,25	36,0

Tabella 17. Valori di  $i_s$  e  $\dot{V}_{min}$  in funzione della categoria di edificio

$A$  è la superficie utile di pavimento

$f_{G,per}$  è il fattore di presenza medio giornaliero riportato in tabella 18

Dato che le apparecchiature vengono considerate solo per le destinazioni differenti da quella residenziale, non viene riportata la procedura per la determinazione dell'entalpia del vapore d'acqua prodotto da queste ultime.

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	$f_{G,per}$
E.1 (1); E.1 (2)	Edifici residenziali	24/24
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensioni ed attività similari	8/24
E.2	Edifici adibiti ad uffici ed assimilabili	8/24
E.3	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche o case di cura ed assimilabili	24/24
E.4	Edifici adibiti ad attività ricreative, associative e di culto	8/24
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali ed assimilabili	8/24
E.6	Edifici adibiti ad attività sportive	8/24
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche di tutti i livelli e assimilabili	8/24
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali ed assimilabili	8/24

Tabella 18. Fattore di presenza medio giornaliero nei locali climatizzati,  $f_{G,per}$



**C. CALCOLO DEL FABBISOGNO ANNUALE DI ENERGIA TERMICA DELL'EDIFICIO**

Facendo riferimento alla procedura descritta al punto precedente, si è calcolato il fabbisogno annuale di energia termica dell'edificio considerando ciascun appartamento come una zona termica differente. Di seguito vengono riportate le tabelle riassuntive dei fabbisogni termici suddivisi per ciascun mese e distinti per la fase di riscaldamento e quella di raffrescamento ed il fabbisogno termico annuale dell'edificio.

	$Q_{NH}$	$Q_{LC}$
	[kWh/m <sup>2</sup> mese]	[kWh/m <sup>2</sup> mese]
Gennaio	5,10	
Febbraio	3,71	
Marzo	2,33	
Aprile	1,12	
Maggio		3,86
Giugno		4,68
Luglio		5,60
Agosto		5,03
Settembre		3,70
Ottobre	2,78	
Novembre	2,68	
Dicembre	4,61	

**Tabella 19. Fabbisogno di energia termica mensile**

	$Q_{BH}$	$Q_{BC}$
	[kWh/m <sup>2</sup> anno]	[kWh/m <sup>2</sup> anno]
Fabbisogno stagionale	24,05	19,30
Fabbisogno annuale	43,35	

**Tabella 20. Fabbisogno di energia termica annuale**

Da quanto riportato in tabella 20 ne consegue che l'intero edificio appartiene alla classe energetica B, dato che il suo fabbisogno annuale è pari a 43,35 kWh/m<sup>2</sup>anno.

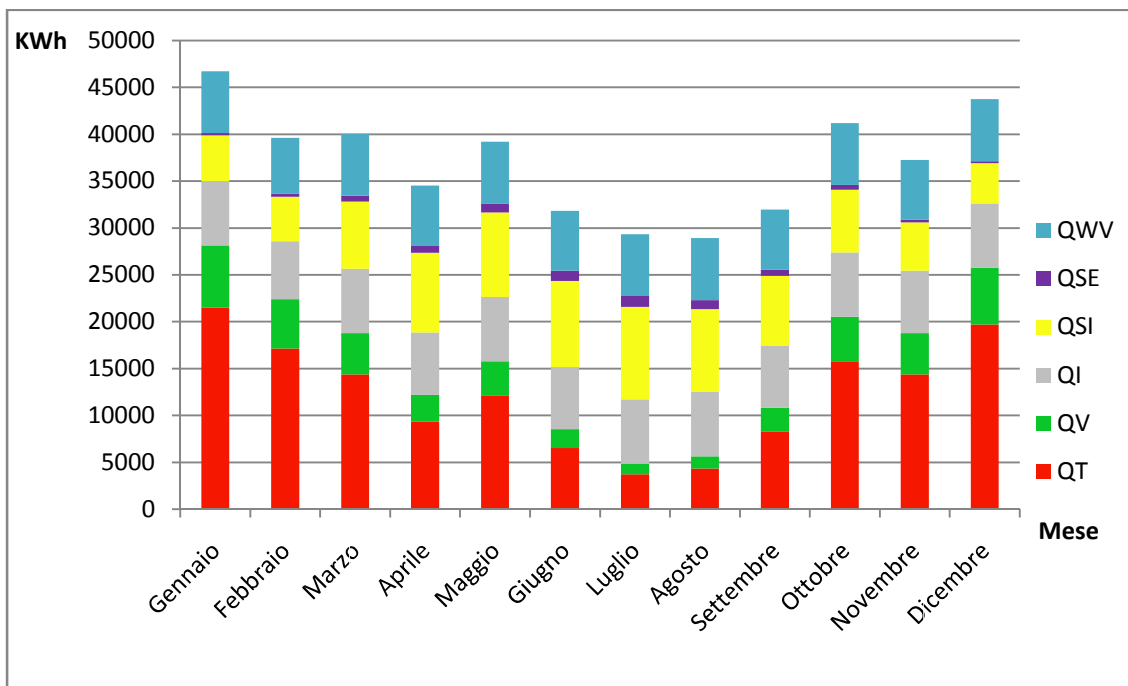


Figura 2. Andamento grafico mensile dei fabbisogni termici

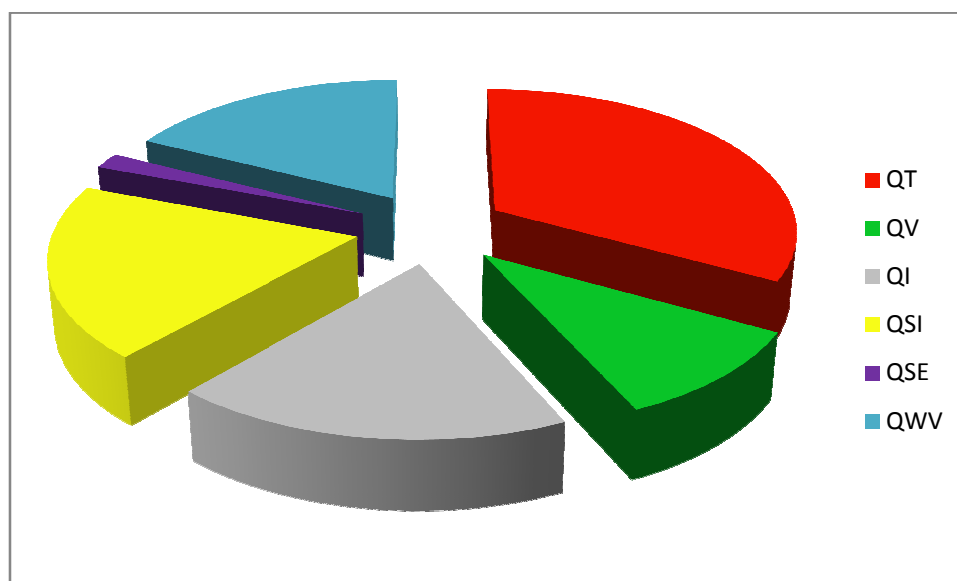


Figura 3. Suddivisione dei fabbisogni termici globali annuali

Inoltre in figura 2 si osserva l'andamento grafico mensile dei fabbisogni termici ed in figura 3 la suddivisione degli stessi nell'arco di un anno.



## 5. FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA DELL'EDIFICIO

### A. FABBISOGNO ANNUALE DI ENERGIA PRIMARIA

Il fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio è dato dalla somma dei fabbisogni annuali di energia primaria calcolati per i diversi servizi presenti nell'edificio: la climatizzazione invernale, la ventilazione con umidificazione controllata, la climatizzazione estiva e la deumidificazione controllata.

Per l'impianto termico finalizzato al soddisfacimento dei servizi indicati, che utilizza come vettori energetici l'energia elettrica, indicata con "el" ed il metano, ossia un combustibile fossile, indicato con "fuel", il fabbisogno di energia primaria è dato dalla seguente relazione:

$$E_p = \sum_{m=1}^{12} [f_{p,el,del} E_{el,del} + f_{p,fuel,del} E_{fuel,del}]$$

dove:

$E_p$  è il fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio

$E_{el,del}$  è l'energia elettrica complessivamente fornita all'edificio per i servizi richiesti

$E_{fuel,del}$  è l'energia complessivamente fornita all'edificio dal vettore energetico metano

$f_{p,el,del}$  è il fattore di conversione in energia primaria dell'energia elettrica fornita all'edificio, riportato in tabella 21

$f_{p,fuel,del}$  è il fattore di conversione in energia primaria dell'energia fornita all'edificio dal vettore energetico metano, riportato in tabella 21.

Fattori di conversione in energia primaria	$f_p$
Combustibili fossili (metano, gasolio, carbone, GPL)	1
Energia elettrica	2,18
Fonti rinnovabili:	
- legna, biomasse, RSU	0,5
- eolico, solare termico e fotovoltaico	0
Teleriscaldamento:	
- con caldaie	1,2*
- altri sistemi di generazione	**
Teleraffreddamento:	
- con refrigeratori industriali	0,5
- combinato con teleriscaldamento (trigenerazione)	0,4
- refrigeratori + free-cooling	0,3
- free-cooling (impiego di acqua di lago/fiume)	0,1
- calore di scarto di processo + frigoriferi assorbimento	0,05
* da utilizzarsi in assenza di dato dichiarato dal fornitore	
** utilizzare il dato dichiarato dal fornitore	

Tabella 21. Fattori di conversione in energia primaria dei vettori energetici

In particolare si osserva che il fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria è pari a 2,18, dovuto al fatto che durante il tragitto lungo la rete pubblica parte dell'energia elettrica viene dispersa, a causa degli abbassamenti di tensione e delle perdite di carico. Ciò ci suggerisce la possibilità di ridurre il valore di energia primaria da fornire all'edificio tramite l'adozione di un impianto per la produzione combinata e contemporanea di energia elettrica e calore, ossia un impianto di cogenerazione, installato nell'area di intervento.

### B. CALCOLO DEL FABBISOGNO ANNUALE DI ENERGIA PRIMARIA

Nelle tabelle che seguono vengono riportati i fabbisogni dell'energia elettrica complessivamente fornita per i servizi richiesti, dell'energia fornita dal vettore energetico metano e l'equivalente valore di energia primaria richiesta, rispettivamente per il caso in cui



l'energia elettrica sia prelevata dalla rete pubblica ed in quello di adozione dell'impianto di cogenerazione.

	$E_{el,del}$	$E_{fuel,del}$	$E_p$
	[kWh/mese]	[kWh/mese]	[kWh/mese]
Gennaio	14400	17432	31831
Febbraio	13006	12741	25748
Marzo	14400	8139	22539
Aprile	13935	3815	17750
Maggio	14400	10260	24660
Giugno	13935	12595	26530
Luglio	14400	15326	29726
Agosto	14400	13705	28105
Settembre	13935	9773	23708
Ottobre	14400	9704	24103
Novembre	13935	9308	23243
Dicembre	14400	15695	30095

**Tabella 22. Fabbisogno mensile di energia elettrica, energia fornita dal vettore energetico metano ed energia primaria forniti all'edificio senza impianto di cogenerazione**

	$E_{el,del}$	$E_{fuel,del}$	$E_p$
	[kWh/anno]	[kWh/anno]	[kWh/anno]
Fabbisogno annuale	169544	138494	308039

**Tabella 23. Fabbisogno annuale di energia elettrica, energia fornita dal vettore energetico metano ed energia primaria forniti all'edificio senza impianto di cogenerazione**

	$E_{el,del}$	$E_{fuel,del}$	$E_{ter,cogeneratore}$	$E_p$
	[kWh/mese]	[kWh/mese]	[kWh/mese]	[kWh/mese]
Gennaio	6605	17432	8303	24037
Febbraio	5966	12741	7499	18708
Marzo	6605	8139	8303	14745
Aprile	6392	3815	8035	10207
Maggio	6605	10260	8303	16866
Giugno	6392	12595	8035	18987
Luglio	6605	15326	8303	21932
Agosto	6605	13705	8303	20311
Settembre	6392	9773	8035	16165
Ottobre	6605	9704	8303	16309
Novembre	6392	9308	8035	15700
Dicembre	6605	15695	8303	22300

**Tabella 24. Fabbisogno mensile di energia elettrica, energia fornita dal vettore energetico metano ed energia primaria forniti all'edificio con l'impianto di cogenerazione**

Essendo l'impianto di cogenerazione, un impianto mediante il quale si produce in modo contemporaneo e combinato energia elettrica ed energia termica, dev'essere considerata la produzione di quest'ultima, al fine di detrarla dall'energia primaria richiesta al vettore energetico metano.

Si è scelti di installare un gruppo di cogenerazione alimentato a biogas, capace di erogare una potenza continua nominale di 105kW, che tramite il recupero dei fumi alla temperatura di 70°C, è in grado di produrre 132kW termici. Considerando una produzione di energia termica



del 125% di quella elettrica, si è calcolato, per i mesi in cui l'edificio necessita del riscaldamento, la quantità globale di energia termica producibile, riportata in tabella 24.

	$E_{el,del}$	$E_{fuel,del}$	$E_p$
	[kWh/anno]	[kWh/anno]	[kWh/anno]
Fabbisogno annuale	77773	40734	118507

**Tabella 25. Fabbisogno annuale di energia elettrica, energia fornita dal vettore energetico metano ed energia primaria forniti all'edificio con l'impianto di cogenerazione**

	$E_{p,rete}$	$E_{p,cogenerazione}$	$\Delta E_p$
	[kWh/anno]	[kWh/anno]	[kWh/anno]
Fabbisogno annuale	308039	118507	189532

**Tabella 26. Fabbisogni di energia primaria rispettivamente senza e con impianto di cogenerazione e risparmio di energia primaria con impianto di cogenerazione**

Dalla tabella 26 si può notare come l'adozione di un gruppo di cogenerazione per la produzione di energia elettrica in sito incida sul fabbisogno di energia primaria dell'involucro: si osserva infatti una sua riduzione del 62%, pari a 189 MWh.

## 6. IMPIANTO DI PANNELLI FOTOVOLTAICI

In seguito al calcolo del fabbisogno di energia primaria dell'edificio, in base alla volontà di conferire una maggior sensibilità energetica e sostenibilità ambientale, si decide di installare sulle coperture degli appartamenti un impianto di pannelli fotovoltaici. In questo modo si determina una produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile: l'intenzione è quella di pareggiare il fabbisogno di energia primaria dell'involucro con un'energia pulita, in modo tale da poter far rientrare l'edificio nella categoria carbon-neutral, ossia quella classe di edifici che tramite lo sfruttamento di fonti di energia rinnovabile, riescono a produrre la medesima quantità di energia di cui necessitano.

### A. CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO

Un impianto fotovoltaico trasforma direttamente l'energia solare in energia elettrica. È composto essenzialmente da moduli fotovoltaici, inverter per la trasformazione della corrente continua generata dai moduli in corrente alternata, quadri elettrici e cavi di collegamento. I moduli sono costituiti da celle in silicio cristallino, un materiale semiconduttore e rappresentano la parte attiva del sistema perché convertono la radiazione solare in energia elettrica.

L'impianto che si desidera realizzare è un impianto cosiddetto grid-connected in quanto collegato alla rete elettrica pubblica poiché nella stagione estiva vi è una produzione di energia elettrica superiore al fabbisogno: la quantità in eccesso viene quindi immessa nella rete pubblica, ricavando un guadagno economico.

I vantaggi dell'impianto possono riassumersi in:

- assenza di qualsiasi tipo di emissione inquinante
- risparmio di combustibili fossili
- affidabilità degli impianti poiché non esistono parti in movimento
- costi di esercizio e manutenzione ridotti al minimo
- modularità del sistema





E' da tener presente che l'impianto fotovoltaico è caratterizzato da un elevato costo iniziale, dovuto essenzialmente all'elevato costo dei moduli, e da una produzione discontinua a causa della variabilità della fonte energetica, ossia il sole. La produzione elettrica annua di un impianto fotovoltaico dipende da diversi fattori, quali:

- radiazione solare incidente sul sito d'installazione;
- orientamento ed inclinazione della superficie dei moduli;
- assenza/presenza di ombreggiamenti;
- prestazioni tecniche dei componenti dell'impianto

### B. STIMA DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODUCIBILE

L'energia annua producibile  $E_{pv}$  dell'impianto fotovoltaico viene fornita dalla seguente espressione analitica:

$$E_{pv} = \eta_{pv} A_{pv} H$$

dove:

$\eta_{pv}$  è l'efficienza complessiva di conversione dell'impianto fotovoltaico, ottenuta tramite prodotto dell'efficienza del modulo fotovoltaico con l'efficienza dell'inverter. Il modulo fotovoltaico scelto presenta un'efficienza  $\eta_{mod}$  pari al 14,70% mentre l'inverter assicura un rendimento  $\eta_{inv}$  del 98,20%. Ne consegue un'efficienza globale dell'impianto pari a 14,40%.  $A_{pv}$  è l'area occupata dall'insieme dei moduli che compongono il generatore, pari a 803 m<sup>2</sup>.  $H$  è il valore della radiazione solare media mensile incidente sulla superficie orizzontale per il comune di Erba, ottenuta come media di valori registrati dal 2004 al 2009, riportati nel database informatico dell'ARPA Lombardia.

	H [W/m <sup>2</sup> ]
Gennaio	56,89
Febbraio	93,33
Marzo	147,75
Aprile	193,27
Maggio	236,77
Giugno	268,74
Luglio	272,98
Agosto	215,58
Settembre	163,38
Ottobre	89,06
Novembre	55,46
Dicembre	45,19

Tabella 27. Radiazione solare media mensile incidente sulla superficie orizzontale per il comune di Erba

In tabella 29 viene poi riportata la produzione mensile di energia elettrica mediante l'impianto di pannelli fotovoltaici, dalla quale si può dedurre una produzione annuale pari a 97 MWh.



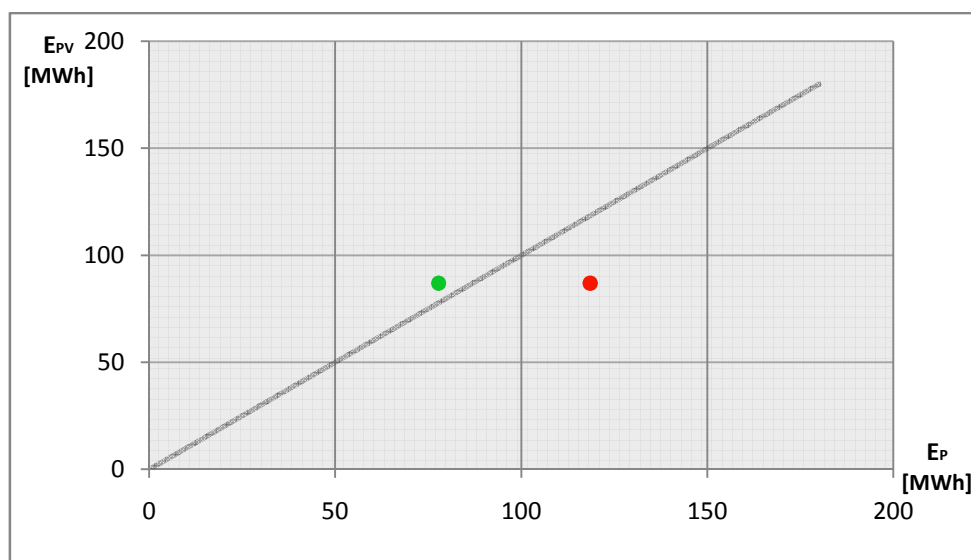
	$E_{pv}$ [kWh/mese]
Gennaio	1839
Febbraio	3028
Marzo	6367
Aprile	9404
Maggio	12755
Giugno	14944
Luglio	14706
Agosto	10839
Settembre	6814
Ottobre	3198
Novembre	1735
Dicembre	1298

**Tabella 28. Energia elettrica mensile prodotta dall'impianto fotovoltaico**

Si ritiene utile sottolineare che nell'ipotesi di produrre energia elettrica in sito mediante impianto di cogenerazione, il fabbisogno di energia elettrica si abbassa a 77 MW, cioè risulta essere inferiore alla quantità di energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico, rendendo così disponibile un guadagno economico.

$E_{el,del}$ [kWh/anno]	$E_{pv}$ [kWh/anno]
77773	86929

**Tabella 29. Comparazione del fabbisogno di energia elettrica e del fabbisogno di energia primaria con l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico**



**Figura 4. Comparazione grafica dell'energia primaria  $E_p$  e dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico  $E_{pv}$**

Nel grafico di figura 4 viene infine riportata la comparazione grafica tra l'energia primaria  $E_p$  e l'energia elettrica  $E_{pv}$  prodotta dall'impianto a pannelli fotovoltaici. Qualora si osservi che, riportando i valori delle due grandezze, il punto giaccia al di sotto della linea inclinata a 45°, significa che l'energia elettrica prodotta tramite impianto fotovoltaico non ricopre il fabbisogno di energia primaria: è il caso rappresentato dal punto rosso, tramite il quale si descrive il fabbisogno globale di energia primaria dell'involucro. Considerando invece il solo



---

fabbisogno di energia elettrica, si deduce, in riferimento al punto verde, che vi è una produzione di energia elettrica  $E_{PV}$  superiore a quella necessaria all'involucro dell'edificio.

