

# ALLEGATO G

## Metodologie di calcolo

## G.1

### FABBISOGNO GLOBALE DI ENERGIA PRIMARIA

Il calcolo per la valutazione del fabbisogno globale di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda per usi igienici e sanitari ( $Q_{p,H,W}$ ) è svolto secondo la norma UNI/TS 11300-2 alla quale si rimanda per una completa trattazione.

Di seguito si riporta la relazione finale:

$$Q_{p,H,W} = \sum Q_{H,c,i} \cdot f_{p,i} + \sum Q_{W,c,j} \cdot f_{p,j} + (Q_{H,aux} + Q_{W,aux} + Q_{INT,aux} - Q_{el,exp}) \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

Ove:

- $Q_{H,c,i}$  [kWh]: fabbisogno di energia per il solo riscaldamento ottenuto da ciascun vettore energetico  $i$  (combustibili, energia elettrica, ecc.). Tale termine è calcolato secondo la UNI/TS 11300-1, incrementato delle perdite dovute all'emissione dei corpi scaldanti, alla regolazione, alla distribuzione, all'eventuale accumulo e alla generazione secondo la UNI/TS 11300-2;
- $f_{p,i}$ : fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico  $i$ . In prima applicazione si assume il valore unitario per i combustibili fossili;
- $Q_{W,c,j}$  [kWh]: fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria ottenuto da ciascun vettore energetico  $j$  (combustibili, energia elettrica, ecc.), valutato facendo riferimento alla UNI/TS 11300-2;
- $f_{p,j}$ : fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico  $j$ . In prima applicazione si assume il valore unitario per i combustibili fossili;
- $Q_{H,aux}$  [kWh]: fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari degli impianti di riscaldamento, valutato facendo riferimento alla UNI/TS 11300-2;
- $Q_{W,aux}$  [kWh]: fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari degli impianti di produzione acqua calda sanitaria, valutato facendo riferimento alla UNI/TS 11300-2;
- $Q_{INT,aux}$  [kWh]: fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari di eventuali sistemi che utilizzano energie rinnovabili e/o di cogenerazione. Tale termine, nel caso di impianti di nuova progettazione può essere ottenuto sulla base dei dati di progetto e delle caratteristiche degli ausiliari dichiarate dal costruttore. Per impianti esistenti si devono reperire i dati di targa oppure si deve ricorrere a misure in campo qualora necessiti un ristretto margine di errore. Qualora, quanto prima esposto non possa essere attuato, si può ricorrere a stime basate sulle portate, prevalenze e rendimenti delle pompe e dei ventilatori come suggerito nella UNI/TS 11300-2;
- $Q_{el,exp}$  [kWh]: energia elettrica esportata dal sistema (solare fotovoltaico, cogenerazione) per un ammontare non superiore a quella impegnata da tutti gli ausiliari dei vari impianti per il

riscaldamento e la produzione di acqua calda;

- $f_{p,el}$ : fattore di conversione in energia primaria dell'energia ausiliaria elettrica, il cui valore è precisato nel D.Lgs 30 maggio 2008 n. 115 e ss.mm.ii o al provvedimento dell'Autorità per l'energia ed il gas e ss.mm.ii.

L'equazione (1) consente inoltre di valutare il fabbisogno di energia primaria separatamente per il solo riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Per il solo riscaldamento si ottiene:

$$Q_{p,H} = \sum Q_{H,c,i} \cdot f_{p,i} + (Q_{H,aux} + Q_{INT,aux} - Q_{el,exp}) \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}]$$

(2)

Analogamente, per la produzione di acqua sanitaria:

$$Q_{p,W} = \sum Q_{W,c,j} \cdot f_{p,j} + (Q_{W,aux} + Q_{INT,aux} - Q_{el,exp}) \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}]$$

(3)

Il significato dei simboli è quello sopra precisato.

## G.2

### SOLARE FOTOVOLTAICO

La metodologia di calcolo è ripresa dalla norma UNI EN 15316-4-6 e ss.mm.ii.

Il contributo energetico dovuto all'impianto fotovoltaico  $Q_{el,exp}$  è espresso da:

$$Q_{el,exp} = \frac{E_{sol} \cdot P_{pk} \cdot f_{perf}}{I_{ref}} \quad [\text{kWh/anno}]$$

Ove:

- $E_{sol}$  [(kWh/m<sup>2</sup>)/anno]: irradiazione totale annua incidente sulla superficie dell'impianto. Il valore di tale grandezza si ottiene da quello incidente annualmente su una superficie orizzontale ( $E_{sol,or}$ ) corretto con un fattore di conversione per inclinazione ( $F_c$ ):

$$E_{sol} = E_{sol,or} \cdot F_c$$

Nelle tabelle G.2.1 e G.2.2 si riportano rispettivamente l'irradiazione totale annua incidente su una superficie orizzontale (norma UNI 10349) ed il fattore  $F_c$ .

Tabella G.2.1 - Irradiazione totale annuale incidente su una superficie orizzontale.

		Genova	Imperia	Savona	La Spezia
Totale	[(kWh/m <sup>2</sup> )/anno]	1425	1544	1384	1452

Tabella G.2.2 - Fattore di conversione in funzione dell'angolo di inclinazione e dell'azimut: irradiazione annuale compresa tra 1350 [(kWh/m<sup>2</sup>)/anno] e 1450 [(kWh/m<sup>2</sup>)/anno].

Angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale	Orientamento		
	Ovest/Est	Sud - Ovest/Sud - Est	Sud
0	1.00	1.00	1.00
15	0.99	1.06	1.08
30	0.97	1.07	1.10
45	0.92	1.05	1.08
60	0.86	0.98	1.00
90	0.68	0.75	0.72

- $P_{pk}$  [kW]: potenza di picco. Rappresenta la potenza elettrica fornita dall'impianto fotovoltaico in corrispondenza ad un'irradianza  $I_{ref} = 1$  [kW/m<sup>2</sup>] incidente sulla sua superficie con temperatura di 25°C. Questa grandezza è così valutabile:

$$P_{pk} = K_{pk} \cdot A$$

[kW]

Ove:

- $A$  [m<sup>2</sup>]: totale superficie dei moduli fotovoltaici (al netto del telaio);
- $K_{pk}$  [kWh/m<sup>2</sup>]: coefficiente della potenza di picco, dipendente dal tipo di moduli fotovoltaici integrati nell'edificio. In assenza di valori forniti dalla casa costruttrice, i valori numerici di  $K_{pk}$  sono reperibili nella già citata norma UNI EN 15316-4-6 e sono comunque riportati in tabella G.2.3.

Tabella G.2.3 - Coefficienti della potenza di picco per differenti moduli fotovoltaici.

Tipo del modulo fotovoltaico	$K_{pk}$ [kW/m <sup>2</sup> ]
Silicio monocristallino <sup>(a)</sup>	0.12 - 0.18
Silicio policristallino <sup>(a)</sup>	0.10 - 0.16
Film sottile di silicio amorfo	0.04 - 0.08
Altri strati di film sottile	0.035
Film sottile di rame - indio - gallio - diselenide	0.105
Film sottile di cadmio - telloride	0.095
(a) con una densità minima del pacco pari all'80%	

- $f_{pert}$ : fattore di efficienza dell'impianto che tiene conto della conversione della corrente da continua in alternata, della temperatura effettiva del modulo e dell'integrazione dei moduli nell'edificio. I valori numerici di tale grandezza, reperibili sempre nella già citata norma UNI EN 15316-4-6, sono comunque riportati in tabella G.2.4:

Tabella G.2.4 - Fattori di efficienza dell'impianto.

Tipo di integrazione dei moduli fotovoltaici nell'edificio	$f_{pert}$
Moduli non ventilati	0.70
Moduli moderatamente ventilati	0.75
Moduli fortemente ventilati o sottoposti a ventilazione forzata	0.80

In presenza di un generatore di calore diverso dalla pompa di calore elettrica o da altri sistemi elettrici, si sottrae al fabbisogno di energia primaria il contributo energetico dovuto all'impianto fotovoltaico solo per quanto riguarda l'energia elettrica richiesta dagli ausiliari.

Nel caso in cui il generatore sia costituito da una pompa di calore elettrica o altro sistema elettrico, il contributo energetico dovuto all'impianto fotovoltaico può essere al massimo uguale alla totale energia primaria.

### G.3

#### SOLARE TERMICO

La valutazione dell'energia termica fornita dai collettori solari è svolta sulla base della norma UNI EN 15316 - 4-3 e ss.mm.ii.

In tale norma si utilizza il metodo, noto come f-Chart, che prevede il calcolo su base mensile della frazione del fabbisogno soddisfatto dall'impianto solare termico sul totale necessario, mediante l'utilizzo di due parametri adimensionali X e Y. Questi sono correlati rispettivamente al rapporto tra le perdite di calore dei collettori solari con il fabbisogno di calore richiesto e ai guadagni di calore sempre con il fabbisogno di calore richiesto dall'utente.

La relazione che consente di ottenere l'energia termica fornita mensilmente dall'impianto solare ( $Q_{sol,out,m}$ ) è:

$$Q_{sol,out,m} = (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3)Q_{sol,us,m} \quad [kW]$$

Ove:

- $Q_{sol,us,m}$  [kWh]: fabbisogno mensile per il riscaldamento, per l'acqua calda sanitaria o per entrambi;
- a, b, c, d, e: fattori di correlazione che dipendono dal tipo di impianto;
- f: fattore di correlazione relativo alla radiazione solare diretta;
- X: fattore adimensionale che dipende da numerose variabili quali ad esempio dal volume dell'accumulo, ecc.;
- Y: fattore adimensionale che dipende dalle caratteristiche di efficienza del collettore solare e dall'irradianza sul piano del collettore.

Dell'energia termica prodotta dall'impianto solare  $Q_{sol,us,m}$ , la quota parte finalizzata al riscaldamento degli ambienti è sottratta al termine  $Q_{H,c,i}$  (equazione (2), paragrafo G.2 del presente allegato), mentre la quota parte di finalizzata alla produzione di acqua calda sanitaria è sottratta al termine  $Q_{W,c,j}$  (equazione (3), paragrafo G.2 del presente allegato).

Per lo sviluppo completo del calcolo si rimanda alla sopra citata norma UNI EN 15316-4-3. In tabella G.3.1 si riportano i valori dell'irradiazione media mensile per le province della Regione Liguria.

Tabella G.3.1 - Irradiazione totale  $E_m$  incidente su una superficie inclinata di 45° a Sud

		Genova	Imperia	Savona	La Spezia
Gennaio	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	82	96	86	80
Febbraio	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	96	108	98	100
Marzo	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	133	142	133	138
Aprile	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	147	162	144	149
Maggio	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	165	177	157	162
Giugno	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	167	181	156	172
Luglio	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	193	204	184	200
Agosto	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	177	187	166	184
Settembre	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	151	163	147	156
Ottobre	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	135	150	129	129
Novembre	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	81	102	89	80
Dicembre	[(kWh/m <sup>2</sup> )/mese]	83	98	85	78

Si possono distinguere i seguenti casi:

- collettori orientati tra SE - SO con inclinazione rispetto all'orizzontale compresa tra: (latitudine -20°) e (latitudine + 5°), non ombreggiati da alcun ostacolo. I valori di  $E_m$  sono quelli riportati in tabella G.3.1;
- collettori orientati tra E - SE e O - SO, altezza media di un ostacolo sull'orizzonte inferiore a 20°, angolo di inclinazione arbitrario. I valori di  $E_m$  sono quelli riportati in tabella G.3.1 corretti con il termine 0.8;
- per tutti gli altri casi i valori di  $E_m$  sono sempre quelli riportati in tabella G.3.1, moltiplicati per un fattore correttivo uguale a 0.8, purché l'orientazione dei collettori sia compresa in un campo di valori di  $\pm 90^\circ$  (tra est e ovest) e l'altezza media di un ostacolo sull'orizzonte sia inferiore a 20° (angolo di inclinazione arbitrario);
- per tutte le altre orientazioni, non si considera alcun contributo di  $E_m$ .

## G.4

### MICROCOGENERAZIONE

Quando il sistema cogenerativo è costituito da un'unità dedicata all'edificio al quale fornisce calore, si usa il termine di "micro cogenerazione".

Per la valutazione del consumo di energia primaria ci si riferisce alla norma UNI EN 15316-4-4 e ss.mm.ii.

Nel presente regolamento ci si riferisce in particolare al caso in cui il sistema cogenerativo fornisce una parte della domanda di energia termica ( $Q_{chp,gen,out}$ ). In tali ipotesi, riprendendo la simbologia della sopra citata normativa, l'energia primaria richiesta ( $E_{chp,gen,in}$ ) è:

$$E_{chp,gen,in} = \frac{Q_{chp,gen,out}}{\eta_{T,ch,an}}$$

[kWh/anno]

Ove:

- $Q_{chp,gen,out}$  [kWh/anno]: calore fornito dalla micro cogenerazione;
- $\eta_{T,ch,an}$ : efficienza termica annuale del microcogeneratore.

Le perdite risultano:

$$Q_{chp,gen,ls} = Q_{chp,gen,out} \left( \frac{1}{\eta_{T,ch,an}} - 1 \right)$$

[kWh/anno]

L'energia elettrica prodotta è ricavabile dalla seguente relazione:

$$Q_{el,chp,out} = E_{chp,gen,in} \cdot \eta_{el,ch,an}$$

[kWh/anno]

Ove

- $\eta_{el,ch,an}$ : efficienza elettrica annuale del microcogeneratore.

In assenza di attestati di certificazione rilasciati dai costruttori della macchina, si possono utilizzare in tabella G.4.1, in prima approssimazione, i valori ripresi dalla normativa sopra citata alla quale si rimanda per maggiori dettagli.

Tabella G.4.1 - Efficienza termica ed elettrica per diversi tipi di motori per micro cogenerazione.

	UNITA'	M.C.I. gas	M.C.I. diesel	Microturbina	Motore Stirling
$\eta_{T,ch,an}$	%	da 45 a 61	da 50 a 60	da 52 a 66	da 61 a 95
$\eta_{el,ch,an}$	%	da 21 a 38	da 30 a 40	da 13 a 32	da 10 a 25
<b>Efficienza totale</b>	%	da 73 a 95	da 78 a 95	da 70 a 90	da 83 a 105

L'energia elettrica prodotta dal gruppo di microcogenerazione contribuisce ad una diminuzione dell'energia primaria dell'edificio per la sola parte di energia elettrica richiesta dagli ausiliari dell'impianto.

## G.5

### POMPE DI CALORE

L'energia elettrica richiesta ( $E_{H,gen,in}$ ) per il funzionamento di una pompa di calore durante il periodo di riscaldamento è valutabile mediante la seguente equazione riferita ad ogni mese di funzionamento:

$$E_{H,gen,in} = \sum_j \frac{Q_{H,gen,out,j} + Q_{H,gen,ls,j}}{COP_{H,HP,j}} + Q_{aux,HP,j}$$

[kWh/anno]

Ove:

- $Q_{H,gen,out,j}$  [kWh/mese]: energia termica richiesta dal sistema di distribuzione;
- $Q_{H,gen,ls,j}$  [kWh/mese]: energia termica dispersa;
- $Q_{aux,HP,j}$  [kWh/mese]: energia elettrica degli ausiliari;
- $COP_{H,HP,j}$ : coefficiente di prestazione della pompa di calore.

La variazione di COP con la temperatura della sorgente interna ed esterna è solitamente fornita dal produttore della pompa di calore. Nel caso in cui le condizioni di funzionamento fossero differenti da quelle previste dal costruttore si può applicare la seguente relazione ripresa dalla norma prEN 15316-4-2 "Method for calculations of system energy requirement and system efficiencies – Part 4-2: Space heating generation systems, heat pump":

$$COP_{H,HP,j} = COP_{std} f_{t,j}$$

Ove:

- $COP_{H,HP,j}$ : coefficiente di prestazione medio mensile in condizioni di effettivo funzionamento;
- $COP_{std}$ : coefficiente di prestazione in condizioni standard di prova;
- $f_{t,j}$ : fattore di correzione mensile, funzione del tipo di pompa di calore. In particolare per:
  - pompe di calore aria – acqua o acqua - acqua:

$$f_{t,j} = \frac{T_{sk,out,opr} \cdot (\theta_{sk,out,std} - \theta_{sc,in,std})}{T_{sk,out,std} \cdot (\theta_{sk,out,opr} - \theta_{sc,in,opr,j})}$$

- pompe di calore aria – aria

$$f_{t,j} = \frac{T_{sk,in,opr} \cdot (\theta_{sk,in,std} - \theta_{sc,in,std})}{T_{sk,in,std} \cdot (\theta_{sk,in,opr} - \theta_{sc,in,opr,j})}$$

ove:

- $T_{sk,out,opr}$  [K]: temperatura superiore del fluido in uscita in condizioni di effettivo funzionamento;
- $T_{sk,out,std}$  [K]: temperatura superiore del fluido in uscita in condizioni standard di prova;

- $T_{sk,in,opr}$  [K]: temperatura superiore del fluido in ingresso in condizioni di effettivo funzionamento;
- $T_{sk,int,std}$  [K]: temperatura superiore del fluido in ingresso in condizioni standard di prova;
- $\theta_{sk,out,opr}$  [°C]: temperatura superiore del fluido in uscita in condizioni di effettivo funzionamento;
- $\theta_{sk,out,std}$  [°C]: temperatura superiore del fluido in uscita in condizioni standard di prova;
- $\theta_{sk,in,opr}$  [°C]: temperatura superiore del fluido in ingresso in condizioni di effettivo funzionamento;
- $\theta_{sk,in,std}$  [°C]: temperatura superiore del fluido in ingresso in condizioni standard di prova;
- $\theta_{sc,in,opr,j}$  [°C]: temperatura inferiore media mensile del fluido in ingresso in condizioni di effettivo funzionamento;
- $\theta_{sc,in,std}$  [°C]: temperatura inferiore del fluido in ingresso in condizioni standard di prova.

Il fabbisogno di energia primaria è ottenuto dalla seguente relazione:

$$Q_{p,H} = E_{H,gen,in} f_{p,el} \quad [\text{kWh/anno}]$$

Ove:

- $f_{p,el}$ : fattore di conversione in energia primaria dell'energia elettrica il cui valore è precisato del D.Lgs 30 maggio 2008, n. 115. Per gli aggiornamenti di tali valori si fa riferimento a quelli del già citato D.Lgs 30 maggio 2008, n. 115 o alle delibere dell'Autorità per l'energia.

Lo stesso procedimento si utilizza per il calcolo del fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria.