

11 Fabbisogno di energia dei sistemi di generazione di energia termica ed elettrica

Un sottosistema di generazione di energia termica è realizzabile con modalità impiantistiche diverse, che pure assolvono alla medesima funzione: produrre energia termica o tramite conversione di energia disponibile sotto altra forma in energia termica o “rivalutando” (innalzandone il livello termico) l’energia dell’ambiente esterno o “svalutando” (abbassandone il livello di temperatura) l’energia dell’ambiente interno. Tale produzione comporta l’impiego di un fluido termovettore, che dai generatori trasporta l’energia termica fino all’utenza finale: è tale fluido termovettore che a seconda dei servizi richiesti viene o riscaldato o raffreddato.

Un sottosistema di generazione di energia elettrica è un sistema che produce energia elettrica per conversione diretta o indiretta da altre forme di energia. Ai fini del presente dispositivo, tale sottosistema è anche il nodo a cui fanno capo tutte le richieste di energia elettrica dell’edificio; quindi sarà sempre presente anche se non vi è una produzione di energia elettrica da parte di sistemi impiantistici dell’edificio.

Per semplicità di trattazione, si definiscono nel seguito con il termine “centrali”, in modo puramente funzionale e non materiale, i vari sottosistemi di generazione di energia, sia termica che elettrica, appartenenti all’edificio. Le diverse centrali potranno infatti essere collocate in uno stesso ambiente, ma risulteranno funzionalmente distinte in relazione alla diversa tipologia e/o al servizio a cui sono dedicate.

Il sottosistema di generazione di energia elettrica, e, comunque, nodo di tutte le richieste elettriche dell’edificio (W_{BU}), è normalmente unico ed è chiamato CENTRALE ELETTRICA (ES). In Figura 11.1 è riportato lo schema funzionale più generale di centrale elettrica, asservita al generico servizio S, che riporta la presenza di due generatori impieganti fonti rinnovabili (eolica, G_{WD} , e solare, G_{PV}) e un input elettrico da un sistema cogenerativo dell’edificio ($W_{HPS,S,out}$).

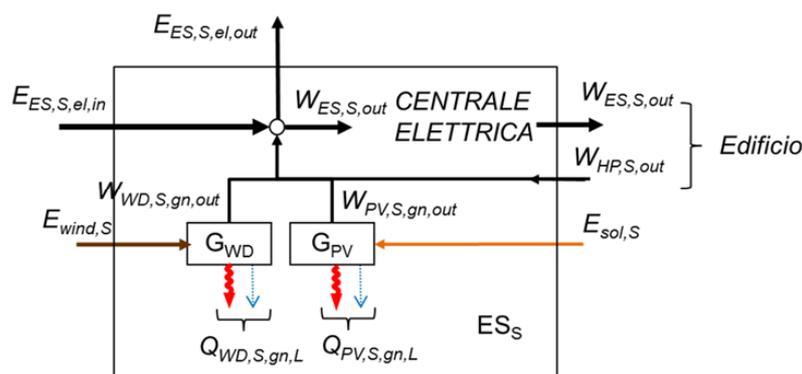


Figura 11.1 – Schema funzionale CENTRALE ELETTRICA

I sottosistemi di generazione di energia termica possono essere invece molteplici e di diversa tipologia. In particolare occorre distinguere tra due diversi principali sottosistemi:

- a) le CENTRALI TERMICHE, (HS), che producono un fluido termovettore caldo;
- b) le CENTRALI FRIGORIFERE, (CS), che producono un fluido termovettore freddo.

Indicato il generico servizio con la lettera S, in Figura 11.2 sono riportate le rappresentazioni schematiche di una centrale termica e una frigorifera asservite al generico servizio S, dove Y rappresenta la tipologia di vettore energetico in ingresso alla centrale (ad esempio, elettricità, combustibile solido, gassoso, liquido, ecc.).

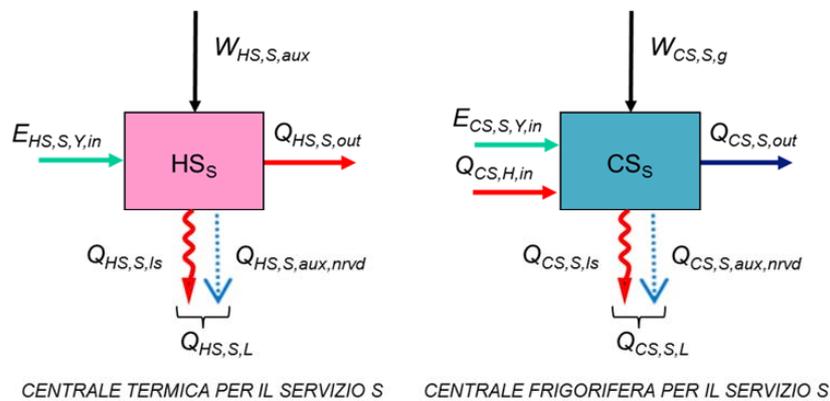


Figura 11.2 – Rappresentazione schematica di una centrale termica e di una centrale frigorifera.

In generale una centrale termica può alimentare tutti i servizi (ad esempio riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria, raffrescamento e climatizzazione estiva), mentre una centrale frigorifera alimenta solo i servizi di raffrescamento e climatizzazione estiva. Di contro una centrale frigorifera può essere alimentata, oltre che da vettori energetici importati ($E_{CS,S,Y,in}$), da “calore” fornito dalla centrale termica, $Q_{CS,H,in}$.

Il sottosistema di generazione di energia termica può avere anche come sottoprodotto la generazione di energia elettrica; in tal caso viene nel seguito indicato come CENTRALE COGENERATIVA (HPS). In Figura 11.3 è riportata la rappresentazione schematica di tale tipo di sottosistema.

Ogni singolo sottosistema di generazione può essere composto da uno o più apparati di generazione, chiamati nel seguito semplicemente generatori, e non contiene al proprio interno il sottosistema di accumulo termico, se presente. Se è un sottosistema di generazione di energia termica si interfaccia con l’edificio attraverso la richiesta di energia termica proveniente o da sottosistemi di accumulo termico o direttamente di distribuzione (Figura 11.4); se è un sottosistema di generazione di energia elettrica si interfaccia con l’edificio attraverso la richiesta di energia elettrica proveniente da tutti i sottosistemi presenti, compresi quelli di generazione di energia termica, W_{BU} , Figura 11.1.

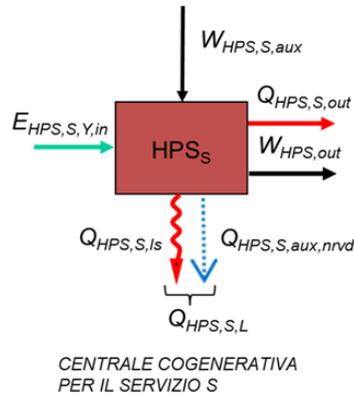


Figura 11.3 – Rappresentazione schematica di una centrale termica cogenerativa.

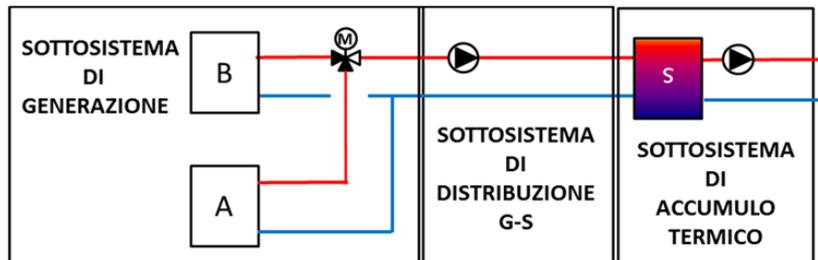


Figura 11.4 – Interconnessione tra sottosistema di generazione termica di distribuzione G-S e di accumulo termico

Ogni sottosistema di generazione (centrale termica, frigorifera, cogenerativa, elettrica) può avere più di un vettore energetico importato per alimentare le diverse tipologie di generatori che possono essere compresenti; quindi il termine $E_{X,S,Y,g,in}$, dove X rappresenta la tipologia di centrale (HS, CS, ES, HPS), presente nelle varie figure è da intendersi quale generico insieme dei vettori importati, insieme che verrà successivamente specificato.

11.1 Energia termica richiesta ai sottosistemi di generazione

Il generico sottosistema di generazione di energia termica, che come tale appartiene a un unico servizio S, identificato nei blocchi funzionali col simbolo G_S , può essere costituito da più centrali (quando ad esempio per semplicità descrittiva identifico le centrali virtuali con le centrali materialmente esistenti, più di una e dislocate magari in fabbricati differenti). In Figura 11.5 è riportato l'esempio di un sottosistema di generazione per il servizio S (che potrebbe essere di riscaldamento, $S=H$, oppure di produzione di acqua calda sanitaria $S=W$, oppure ancora di produzione di fluido termovettore caldo per il post-riscaldamento nella climatizzazione estiva, $S=HCA$), che è costituito da due centrali termiche, $HS1_S$ e $HS2_S$, che concorrono a soddisfare la richiesta di energia termica del servizio S considerato.

In generale i componenti di un sottosistema di generazione sono le centrali termiche, frigorifere e cogenerative. La centrale elettrica viene sempre considerata unica e appartenente al solo edificio.

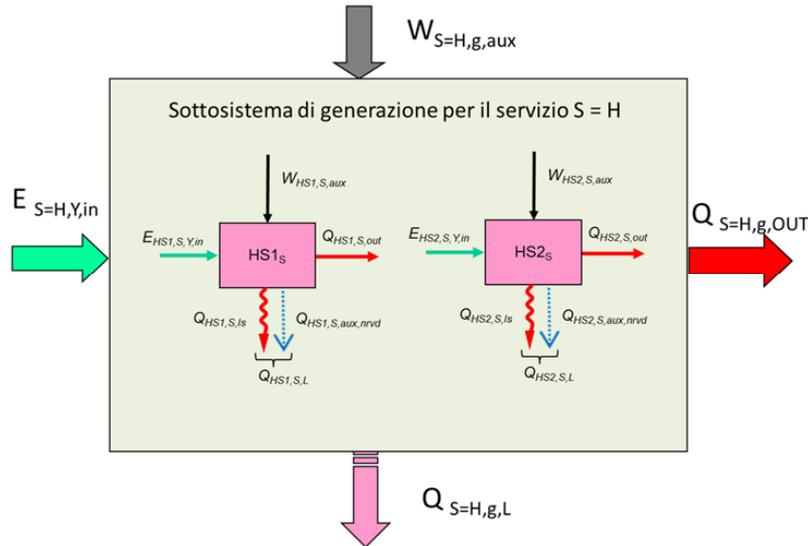


Figura 11.5 – Sottosistema di generazione per il servizio S, composto da due centrali termiche HS1_s e HS2_s.

L'energia termica richiesta al sottosistema di generazione di un servizio S, se tale sottosistema è costituito da più centrali, viene quindi ripartita su tali centrali secondo un criterio di priorità definito al paragrafo § 11.1.4; se invece il sottosistema coincide con un'unica centrale la richiesta alla centrale coincide con quella al sottosistema.

11.1.1 Energia richiesta alla singola centrale da servizi diversi

Una centrale termica, frigorifera o cogenerativa, può alimentare più servizi che richiedano la stessa tipologia di energia termica (GENERAZIONE TERMICA INTEGRATA), di conseguenza l'energia termica richiesta alla generica centrale k-esima da un insieme di servizi N_s determinata sommando tutte le richieste dei singoli servizi che fanno capo a tale centrale.

Nel caso di **centrale termica**, cioè centrale produttrice di un fluido termovettore caldo, questa può servire sia il servizio riscaldamento che acqua calda sanitaria e/o climatizzazione estiva, ecc., per cui, in generale, la richiesta di energia termica che deve soddisfare la k-esima centrale, Q_{HS_k,out,t}, è determinata sommando tutte le richieste dei singoli servizi che fanno capo a essa, cioè:

$$Q_{HS_k,out} = \sum_{S=1}^{N_s} \sum_{i=1}^{N_z} Q_{HS_k,S,out,i} + \sum_{j=1}^{N_g} Q_{CS_j,H,in} \quad (11.1)$$

dove:

$Q_{HS_k,S,out,i}$ è l'energia termica richiesta alla centrale termica k-esima (HS_k) dalla zona i-esima ad essa collegata per il servizio S, [kWh];

$Q_{CS_j,H,g,in}$ è l'energia termica richiesta alla centrale termica k-esima (HS_k) dalla centrale frigorifera j-esima (CS_j) ad essa collegata, [kWh];

N_S è il numero di servizi alimentati dalla centrale termica k-esima, [-];

N_z è il numero di zone il cui servizi sono alimentati dalla centrale termica k-esima, [-];

N_g è il numero delle centrali frigorifere alimentati dalla centrale termica k-esima, [-].

Se la **centrale è cogenerativa** l'energia termica richiesta si determina nello stesso modo della centrale termica, cioè con l'equazione (11.1).

I servizi possibili richiesti a una centrale sono:

- riscaldamento: S=H
- climatizzazione invernale: S=HA
- climatizzazione estiva (postriscaldamento): S=HCA
- acqua calda sanitaria: S=W

Le richieste di energia termica per servizio e zona, $Q_{HS,S,out}$, sono specificate nei relativi paragrafi, e nello specifico:

- acqua calda sanitaria: § 6;
- riscaldamento e climatizzazione invernale: § 7
- climatizzazione estiva: § 8

Analogamente l'energia termica richiesta alla k-esima **centrale frigorifera**, $Q_{CS_k,out}$, nel caso di generazione termica integrata, è determinata sommando tutte le richieste dei singoli servizi da questa alimentati:

$$Q_{CS_k,out} = \sum_{S=1}^{N_S} \sum_{i=1}^{N_z} Q_{CS_k,S,out,i} \quad (11.2)$$

dove:

$Q_{CS_k,S,out,i}$ è l'energia termica richiesta alla centrale frigorifera k-esima dalla zona i-esima ad essa collegata per il servizio S, [kWh].

I servizi possibili sono:

- raffrescamento: S=C
- climatizzazione estiva: S=CA

Le richieste di energia termica per servizio e zona, $Q_{CS_k,S,out,i}$, sono specificate nei relativi paragrafi, e nello specifico:

- raffrescamento: § 8
- climatizzazione estiva: § 8

Si possono individuare due casi particolari per cui sviluppare in dettaglio quanto descritto in generale dalle (11.1) e 9.1, quelli relativi alla generazione termica totalmente integrata o totalmente separata per i servizi riscaldamento o climatizzazione invernale, acqua calda sanitaria, raffrescamento o climatizzazione estiva, così come definiti e descritti ai paragrafi § 11.1.2 e § 11.1.3. Si possono ovviamente verificare diverse combinazioni di servizi richiesti ad un'unica centrale, intermedie a quelle indicate, che si possono ottenere considerando assenti per la centrale multiservizio i servizi esclusi, e aggiungendo per questi le relative centrali monoservizio.

11.1.2 Generazione termica totalmente integrata

L'energia termica richiesta alla **centrale termica, (HS)**, dall'insieme dei servizi (riscaldamento e climatizzazione invernale, acqua calda sanitaria, raffrescamento e climatizzazione estiva) che chiedono "caldo", $Q_{HS,out}$, è data da:

$$Q_{HS,out} = Q_{HS,H,out} + Q_{HS,W,out} + Q_{HS,HA,out} + Q_{HS,HCA,out} + Q_{HS,CS,out} \quad (11.3)$$

dove il termine $Q_{HS,CS,out}$ corrisponde all'energia termica fornita a centrali frigorifere per il funzionamento di frigoriferi ad assorbimento ed è pari a:

$$Q_{HS,CS,out} = \sum_k [Q_{CS,H,in}]_k \quad (11.4)$$

che può essere riscritta in termini di energia richiesta dai sottosistemi di accumulo o distribuzione o di generazione, connessi con tale centrale, come:

$$Q_{HS,out} = \sum_i \left\{ \sum_j [Q_{H,s/d,in}]_{i,j} + \sum_j [Q_{W,s/d,in}]_{i,j} + \sum_j [Q_{HA,s/d,in}]_{i,j} + \sum_j [Q_{HCA,s/d,in}]_{i,j} \right\} + \sum_k [Q_{CS,H,in}]_k \quad (11.5)$$

dove:

- $Q_{H,s/d,in,i,j}$ è l'energia termica richiesta alla centrale termica dal sottosistema di accumulo o dalla distribuzione (se il primo è assente) j-esima della zona i-esima, ad essa connessi – servizio riscaldamento,(H), [kWh];
- $Q_{W,s/d,in,i,j}$ è l'energia termica richiesta alla centrale termica dal sottosistema di accumulo o dalla distribuzione (se il primo è assente) j-esima della zona i-esima, ad essa connessi – servizio acqua calda sanitaria,(W), [kWh];
- $Q_{HA,s/d,in,i,j}$ è l'energia termica richiesta alla centrale termica dal sottosistema di accumulo o dalla distribuzione (se il primo è assente) j-esima della zona i-esima, ad essa connessi – servizio climatizzazione invernale (HA), [kWh];
- $Q_{HCA,s/d,in,i,j}$ è l'energia termica richiesta alla centrale termica dal sottosistema di accumulo o dalla distribuzione (se il primo è assente) j-esima della zona i-esima, ad essa connessi – servizio climatizzazione estiva (HCA), [kWh];
- $Q_{CS,H,in,k}$ è l'energia termica richiesta alla centrale termica dalla centrale frigorifera k-esima ad essa connessa – servizio raffrescamento o climatizzazione estiva, (CS), [kWh].

Se la **centrale termica è cogenerativa** l'energia termica richiesta si determina nello stesso modo della centrale termica.

L'energia termica richiesta alla **centrale frigorifera, (CS)**, dall'insieme dei servizi (raffrescamento e climatizzazione estiva) che chiedono "freddo", $Q_{CS,out}$, è data da:

$$Q_{CS,out} = Q_{CS,C,out} + Q_{CS,CA,out} \quad (11.6)$$

che può essere riscritta in termini di energia richiesta dai sottosistemi di accumulo o distribuzione come:

$$Q_{CS,out} = \sum_i \left\{ \sum_j [Q_{C,s/d,in}]_{i,j} + \sum_j [Q_{CA/d,in}]_{i,j} \right\} \quad (11.7)$$

dove:

$Q_{C,s/d,in,i,j}$ è l'energia termica richiesta alla centrale frigorifera dal sottosistema di accumulo o dalla distribuzione (se il primo è assente) j-esima della zona i-esima, ad essa connessi – servizio raffrescamento (C), [kWh];

$Q_{CA,s/d,in,i,j}$ è l'energia termica richiesta alla centrale frigorifera dal sottosistema di accumulo o dalla distribuzione (se il primo è assente) j-esima della zona i-esima, ad essa connessi – servizio climatizzazione estiva (CA), [kWh].

11.1.2.1 Fattori di ripartizione della richiesta di energia

Nel caso di generazione completamente integrata, per potere poi attribuire ai vari servizi S la relativa quota dei vettori energetici richiesti per l'alimentazione della centrale, occorre definire dei fattori di ripartizione, che, calcolati sulla richiesta termica, verranno poi applicati sui vettori richiesti.

Si definiscono quindi per la **centrale termica** e per la **centrale cogenerativa** i seguenti fattori adimensionali:

$$\begin{aligned}
 f_{HS,H} &= \frac{Q_{HS,H,out}}{Q_{HS,out}} \\
 f_{HS,HA} &= \frac{Q_{HS,HA,out}}{Q_{HS,out}} \\
 f_{HS,W} &= \frac{Q_{HS,W,out}}{Q_{HS,out}} \\
 f_{HS,HCA} &= \frac{Q_{HS,HCA,out}}{Q_{HS,out}} \\
 f_{HS,CS} &= \frac{Q_{HS,CS,out}}{Q_{HS,out}}
 \end{aligned}
 \quad \text{con:} \quad f_{HS,H} + f_{HS,HA} + f_{HS,W} + f_{HS,HCA} + f_{HS,CS} = 1 \quad (11.8)$$

dove:

$f_{HS,H}$ è il fattore di ripartizione dell'energia termica fornita dalla centrale termica HS al servizio di riscaldamento, [-];

$f_{HS,HA}$ è il fattore di ripartizione dell'energia termica fornita dalla centrale termica HS al servizio di climatizzazione invernale, [-];

$f_{HS,W}$ è il fattore di ripartizione dell'energia termica fornita dalla centrale termica HS al servizio della produzione di acqua calda sanitaria, [-];

$f_{HS,HCA}$ è il fattore di ripartizione dell'energia termica fornita dalla centrale termica HS al servizio climatizzazione estiva, [-];

$f_{HS,CS}$ è il fattore di ripartizione dell'energia termica fornita dalla centrale termica HS all'eventuale centrale frigorifera per alimentare frigoriferi ad assorbimento, [-].

Si definiscono analogamente per la **centrale frigorifera** i seguenti fattori adimensionali:

$$f_{CS,C} = \frac{Q_{CS,C,out}}{Q_{CS,out}} \quad (11.9)$$

$$f_{CS,CA} = \frac{Q_{CS,CA,out}}{Q_{CS,out}} \quad \text{con:} \quad f_{CS,C} + f_{CS,CA} = 1$$

dove:

$f_{CS,C}$ è il fattore di ripartizione dell'energia termica fornita dalla centrale frigorifera CS al servizio di raffrescamento, [-];

$f_{CS,CA}$ è il fattore di ripartizione dell'energia termica fornita dalla centrale frigorifera CS al servizio di climatizzazione estiva, [-].

11.1.3 Generazione termica totalmente separata

L'energia termica richiesta alla centrale termica (HS_H) dedicata al solo servizio riscaldamento, $Q_{HS,H,out}$, è data da:

$$Q_{HS,H,out} = \sum_i \left\{ \sum_j [Q_{H,s/d,in}]_{i,j} \right\} \quad (11.10)$$

L'energia termica richiesta alla centrale termica (HS_{HA}) dedicata al solo servizio climatizzazione invernale, $Q_{HS,HA,out}$, è data da:

$$Q_{HS,HA,out} = \sum_i \left\{ \sum_j [Q_{HA,s/d,in}]_{i,j} \right\} \quad (11.11)$$

L'energia termica richiesta alla centrale termica (HS_W) dedicata al solo servizio acqua calda sanitaria, $Q_{HS,W,out}$, è data da:

$$Q_{HS,W,out} = \sum_i \left\{ \sum_j [Q_{W,s/d,in}]_{i,j} \right\} \quad (11.12)$$

L'energia termica richiesta alla centrale termica (HS_{HCA}) dedicata al solo servizio climatizzazione estiva, $Q_{HS,HCA,out}$, è data da:

$$Q_{HS,HCA,out} = \sum_i \left\{ \sum_j [Q_{HCA,s/d,in}]_{i,j} \right\} \quad (11.13)$$

L'energia termica richiesta alla centrale termica (HS_{CS}) dedicata al servizio alimentazione centrale frigorifera, $Q_{HS,CS,out}$, è data da:

$$Q_{HS,CS,out} = \sum_k [Q_{CS,H,in}]_k \quad (11.14)$$

L'energia termica richiesta alla centrale frigorifera, (CS_c) dedicata al servizio solo raffrescamento $Q_{CS,C,out}$, è data da:

$$Q_{CS,C,out} = \sum_i \left\{ \sum_j [Q_{C,s/d,in}]_{i,j} \right\} \quad (11.15)$$

L'energia termica richiesta alla centrale frigorifera, (CS_{CA}) dedicata al servizio climatizzazione estiva cioè anche all'alimentazione del sistema aeraulico, $Q_{CS,CA,out}$, è data da:

$$Q_{CS,CA,out} = \sum_i \left\{ \sum_j [Q_{CA,s/d,in}]_{i,j} \right\} \quad (11.16)$$

Nel caso di generazione termica completamente separata è evidente che i fattori di ripartizione dell'energia per ogni centrale, di cui al paragrafo § 11.1.2.1, sono identicamente pari a uno per il servizio da questa fornito e pari a zero per tutti gli altri, cioè:

$$\begin{aligned} f_{X,S_k} &= 1 && \text{per } S_k = S \\ f_{X,S_k} &= 0 && \text{per } S_k \neq S \end{aligned} \quad (11.17)$$

dove

X è il tipo di centrale considerata, [-];

S è il servizio attribuito alla centrale considerata, [-];

k è l'indice dei servizi, [k].

11.1.4 Suddivisione della richiesta termica tra più centrali dello stesso tipo

Se sono presenti nello stesso sottosistema di generazione più centrali dello stesso tipo, cioè più centrali termiche e/o frigorifere, che servono lo stesso servizio o insieme di servizi (in questo secondo caso più servizi hanno in comune lo stesso sottosistema di generazione), il carico può essere distribuito in modi diversi tra queste centrali secondo le previste modalità di collegamento e di regolazione.

Riguardo alle modalità di collegamento sono possibili due diverse configurazioni:

- a) centrali distinte dello stesso tipo (termiche o frigorifere) servono zone termiche distinte;
- b) centrali distinte dello stesso tipo servono le stesse zone termiche.

Nel caso a) si attribuisce a ogni centrale la richiesta termica definita al paragrafo § 11.1.2 o § 11.1.3 in funzione delle zone termiche associate a ognuna di queste.

Nel caso b) occorre verificare se esiste un sistema di controllo che gestisce l'intervento delle varie centrali secondo le seguenti logiche:

- ripartizione uniforme del carico (senza priorità);
- regolazione in cascata e ripartizione del carico con priorità.

Nel primo caso tutte le centrali sono contemporaneamente in funzione e il fattore di carico utile medio di centrale, $FCC_{X,S}$, è identico per tutte le centrali di tipo X (termiche o frigorifere) che forniscono il solo servizio S (se la centrale è multiservizio l'indice S si omette) e vale:

$$FCC_{X,S} = \frac{Q_{X,S,out} / \Delta t}{\sum_{k=1}^{N_{CX}} \Phi_{X_k,S,out,N}} \quad (11.18)$$

dove:

- $Q_{X,S,out}$ è l'energia termica richiesta alle centrali di tipo X per il servizio S, [kWh];
- Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].
- $\Phi_{X_k,S,out,N}$ è la potenza termica utile nominale della centrale k-esima di tipo X, [W];
- N_{CX} è il numero di centrali di tipo X che coprono lo stesso servizio S, [-];
- X è l'indice di tipo di centrale (HS,CS o HPS), [-];
- S indice del servizio, come riportato al paragrafo § 11.1.2, solo se completamente a questo dedicato, altrimenti nessun indice [-].

Nel secondo caso le centrali a più alta priorità funzionano per prime e una data centrale nell'elenco di priorità funziona solo se quelle di priorità immediatamente più alta funzionano già a pieno carico. In questo caso le centrali hanno, mese per mese, un fattore di carico termico utile differenziato in base all'ordine di attivazione. Per il calcolo di tali fattori occorre definire la potenza termica utile media del sistema di centrali di tipo X:

$$\Phi_{X,S,out,av} \equiv \frac{Q_{X,S,out}}{\Delta t} = FCC_{X,S} \cdot \left(\sum_{k=1}^{N_{CX}} \Phi_{X_k,S,out,N} \right) \quad (11.19)$$

Il fattore di carico termico utile per ogni singola centrale k-esima di tipo X è quindi dato, per k che va da 1 al numero di centrali dello stesso tipo, da:

$$FCC_{X,S,k} = \frac{\Phi_{X,S,out,av} - \sum_{j=1}^{k-1} \Phi_{X_j,S,out,N}}{\Phi_{X_k,S,out,N}} \quad (11.20)$$

con le seguenti condizioni:

- a. se $FCC_{X,S,k} > 1 \Rightarrow FCC_{X,S,k} = 1$
- b. se $FCC_{X,S,k} < 0 \Rightarrow FCC_{X,S,k} = 0$

da cui l'energia richiesta ad ogni singola centrale è:

$$Q_{X_k,S,out} = FCC_{X,S,k} \cdot \Phi_{X_k,S,out,N} \cdot \Delta t \quad (11.21)$$

che rappresenta il dato d'ingresso per il calcolo delle perdite termiche e dell'energia richiesta da ogni singola centrale di generazione e quindi del sistema di generazione nel suo complesso.

NOTA 1: Il calcolo dei fattori di carico $FCC_{X,S,k}$ per ogni centrale va eseguito in modo ordinato seguendo l'ordine di priorità di accensione.

NOTA 2: Nel caso in cui le centrali siano di tipo termico e con regolazione in cascata e ripartizione del carico con priorità e se tali priorità non risultino specificate nel progetto o comunque non disponibili, per la certificazione energetica si segue, per centrali MONOVALENTI (cioè con la stessa tipologia di generatore al proprio interno) l'ordine di priorità dato nel Prospetto 11.I. Se le centrali fossero POLIVALENTI (cioè diverse tipologie di generatore al proprio interno), il funzionamento in cascata è funzione esclusivamente dell'ordine di accensione in base alle potenze termiche nominali (priorità più alta a centrale di potenza maggiore); mentre la regolazione in cascata è applicata a livello di singola centrale (cioè tra i diversi tipi di generatori presenti nella singola centrale).

| Priorità ^{a)} | sottosistema di generazione (centrale termica) | produzione di energia |
|------------------------|--|--|
| 1 | solare termico | termica |
| 2 | cogenerazione | elettrica e termica cogenerata ^{b)} |
| 3 | combustione a biomassa | termica |
| 4 | pompa di calore | termica |
| 5 | generatori di calore a combustibili fossili | termica |

a) Qualora il sistema preveda l'utilizzo di energia termica utile da rete (telerscaldamento) e di energia solare, a quest'ultima viene assegnata priorità 1.
b) Si considerano solo sistemi cogenerativi a carico termico a seguire, cioè regolati in funzione del carico termico. L'energia termica è quindi la principale.

Prospetto 11.I – Priorità delle centrali termiche per regolazione in cascata
(Fonte: adattato da UNI TS 11300-2:2014)

11.1.5 Allocazione della richiesta termica ai singoli sottosistemi di generazione dei vari servizi

In generale, per il sottosistema di generazione termica asservito al servizio S, la richiesta termica è definita da :

$$Q_{S,g,out} = \sum_{X=1}^{N_t} \sum_{k=1}^{N_{Cx}} Q_{X_k,S,out} \quad (11.22)$$

dove:

$Q_{S,g,out}$ è l'energia termica richiesta al sottosistema di generazione del servizio S, [kWh];

$Q_{HS_k,S,out}$ è l'energia termica richiesta alla centrale k-esima di tipo X (X_k) per soddisfare il servizio S, [kWh];

N_{Cx} è il numero di centrali di tipo X, [-];

N_t è il numero di tipi di centrali che alimentano il servizio S (ad es. se climatizzazione estiva si hanno almeno due centrali, HS, per il post-riscaldamento e ,CS, la produzione di acqua refrigerata), [-].

Tramite i fattori di ripartizione dell'energia termica richiesta, definiti al paragrafo 11.1.2.1, e dati dalle (11.8) e dalle (11.9), l'equazione (11.22) può essere riscritta direttamente in termini di energia richiesta complessivamente alla centrale come:

$$Q_{S,g,out} = \sum_{X=1}^{N_t} \sum_{k=1}^{N_{C_X}} (f_{X,S} \cdot Q_{X_k,out}) \quad (11.23)$$

dove:

$Q_{S,g,out}$ è l'energia termica richiesta al sottosistema di generazione del servizio S, [kWh];

$Q_{X_k,out}$ è l'energia termica richiesta complessivamente alla centrale k-esima di tipo X, [kWh];

$f_{X,S}$ è il fattore di ripartizione dell'energia termica fornita dalla centrale k-esima di tipo X relativo al servizio S, [-].

11.2 Energia elettrica richiesta alla centrale elettrica

L'energia elettrica complessivamente richiesta alla centrale elettrica, $W_{ES,out}$,

- per soddisfare la richiesta di energia assorbita dagli ausiliari delle j tipologie impiantistiche che servono le i zone, ai fini dei vari servizi forniti, con esclusione dei sottosistemi di generazione;
- per soddisfare la richiesta di energia elettrica degli ausiliari dei sottosistemi di generazione;
- per soddisfare la richiesta di energia elettrica per illuminazione generale dell'edificio;

è data da:

$$W_{ES,out} = \sum_{S=1}^{N_s} W_{S,ds} + \sum_{S=1}^{N_s} W_{S,g} + W_{L,in} \quad (11.24)$$

con:

$$W_{S,ds} = \sum_{i=1}^{N_z} \sum_{j=1}^{N_l} W_{S,ds,i,j} \quad (11.25)$$

$$W_{S,g} = \sum_{X=1}^{N_t} \sum_{k=1}^{N_{C_X}} W_{X_k,S,g} \quad (11.26)$$

e con:

$$W_{X_k,S,g} = W_{X_k,S,aux} + E_{X_k,S,el,in} \quad (11.27)$$

dove:

$W_{S,ds}$ è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari dei sottosistemi del servizio S alla centrale elettrica, con esclusione dei sottosistemi di generazione, [kWh];

$W_{S,g}$ è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari e eventuali generatori azionati elettricamente dei sottosistemi di generazione che alimentano il servizio S, [kWh];

$W_{L,in}$ è la richiesta mensile di energia elettrica per illuminazione generale dell'edificio, [kWh];

$W_{S,ds,i,j}$ è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari del sistema impiantistico j-esimo che serve la zona i-esima con il servizio S alla centrale elettrica, [kWh];

- $W_{X_k,S,g}$ è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari e eventuali generatori azionati elettricamente del sottosistema di generazione k-esimo di tipo X alla centrale elettrica che alimenta il servizio S, [kWh];
- $W_{X_k,S,aux}$ è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di generazione k-esimo di tipo X alla centrale elettrica che alimenta il servizio S, [kWh];
- $E_{X_k,S,el,in}$ è la richiesta mensile di energia elettrica di eventuali generatori azionati elettricamente del sottosistema di generazione k-esimo di tipo X alla centrale elettrica che alimenta il servizio S, [kWh];
- N_s è il numero di servizi presenti, [-];
- N_z è il numero di zone servite, [-];
- N_i è il numero di sistemi impiantistici che servono la zona i-esima, [-];
- N_t è il numero di tipi di sottosistemi di generazione, [-];
- N_c è il numero di sottosistemi di generazione di tipo X, [-];
- X è l'indice di tipo di centrale (HS,CS o HPS) , [-];
- S indice del servizio, come riportato al paragrafo § 11.1.2, solo se completamente a questo dedicato, altrimenti nessun indice [-].

NOTA: Ai servizi già specificati al paragrafo § 11.1.2, si aggiunge il servizio S=V , ventilazione, che per definizione ha solo richiesta di energia elettrica e quindi è presente solo per la centrale elettrica.

11.2.1 Fattori di ripartizione della richiesta di energia elettrica

Per potere attribuire ai vari servizi S la relativa quota dei vettori energetici richiesti e/o autoprodotti per l'alimentazione della centrale, occorre definire dei fattori di ripartizione, che, calcolati sulla richiesta elettrica dei servizi dell'edificio, verranno poi applicati sui vettori richiesti e/o autoprodotti.

Si definiscono i seguenti fattori adimensionali:

$$\begin{aligned}
 f_{ES,H} &= \frac{W_{H,ds,out} + W_{H,g}}{W_{ES,out}} \\
 f_{ES,HA} &= \frac{W_{HA,ds,out} + W_{HA,g}}{W_{ES,out}} \\
 f_{ES,W} &= \frac{W_{W,ds,out} + W_{W,g}}{W_{ES,out}} \\
 f_{ES,HCA} &= \frac{W_{HCA,ds,out} + W_{HCA,g}}{W_{ES,out}} \quad \text{con:} \quad f_{ES,H} + f_{ES,HA} + f_{ES,W} + f_{ES,HCA} + f_{ES,CS} + f_{ES,C} + f_{ES,CA} + f_{ES,L} = 1 \\
 f_{ES,CS} &= \frac{W_{CS,ds,out} + W_{CS,g}}{W_{ES,out}} \\
 f_{ES,C} &= \frac{W_{C,ds,out} + W_{C,g}}{W_{ES,out}} \\
 f_{ES,CA} &= \frac{W_{CA,ds,out} + W_{CA,g}}{W_{ES,out}} \\
 f_{ES,L} &= \frac{W_{L,in}}{W_{ES,out}} \tag{11.28}
 \end{aligned}$$

dove:

- $f_{ES,H}$ è il fattore di ripartizione dell'energia elettrica fornita dalla centrale elettrica ES al servizio di riscaldamento, [-];
- $f_{ES,HA}$ è il fattore di ripartizione dell'energia elettrica fornita dalla centrale elettrica ES al servizio di climatizzazione invernale, [-];
- $f_{ES,W}$ è il fattore di ripartizione dell'energia elettrica fornita dalla centrale elettrica ES al servizio della produzione di acqua calda sanitaria, [-];
- $f_{ES,HCA}$ è il fattore di ripartizione dell'energia elettrica fornita dalla centrale elettrica ES al servizio climatizzazione estiva, [-];
- $f_{ES,CS}$ è il fattore di ripartizione dell'energia elettrica fornita dalla centrale elettrica ES all'eventuale centrale frigorifera per alimentare frigoriferi ad assorbimento, [-];
- $f_{ES,C}$ è il fattore di ripartizione dell'energia elettrica fornita dalla centrale frigorifera ES al servizio di raffrescamento, [-];
- $f_{ES,CA}$ è il fattore di ripartizione dell'energia elettrica fornita dalla centrale frigorifera ES al servizio di climatizzazione estiva, [-];
- $f_{ES,L}$ è il fattore di ripartizione dell'energia elettrica fornita dalla centrale frigorifera ES al servizio di illuminazione generale, [-]

11.3 Energia richiesta dai sottosistemi di generazione

L'energia richiesta dai sottosistemi di generazione, distinta per singolo vettore energetico, si calcola per ogni generico servizio S (riscaldamento, raffrescamento, climatizzazione invernale, climatizzazione estiva e

ventilazione, produzione di acqua calda sanitaria, sia con generazione integrata che separata), in funzione delle diverse di centrali utilizzate come nel seguito descritto.

Di norma il generico sottosistema di generazione di energia termica appartiene ad un unico servizio S, identificato nei blocchi funzionali col simbolo G_S, e può essere costituito da più centrali. In Figura 11.6 è riportato l'esempio di un sottosistema di generazione per il servizio di climatizzazione estiva (S=CA), che in questo caso è costituito da due centrali, una termica per alimentare il post-riscaldamento, HS_{HCA} e una frigorifera, CS_{CA}, che alimenta una unità trattamento aria (UTA). Tali centrali, potevano anche essere allocate a due sottosistemi di generazione distinti (uno "caldo" e uno "freddo") concorrono a soddisfare la richiesta di energia termica del servizio S considerato.

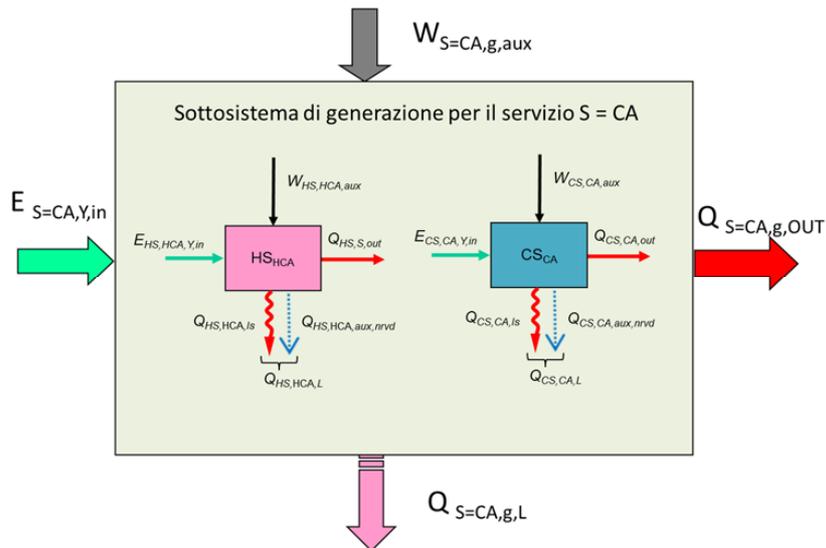


Figura 11.6 – Sottosistema di generazione per il servizio S=CA, composto da due centrali HS_{HCA} e CS_{CA}.

In generale i componenti di un sottosistema di generazione sono le centrali termiche, frigorifere e cogenerative. La centrale elettrica viene sempre considerata unica e appartenete al solo edificio, per cui i vettori elettrici importati ed eventualmente esportati dall'edificio sono definiti al paragrafo § 11.4.2.

Di conseguenza, l'energia e quindi i vettori energetici richiesti dal generico servizio S sono calcolabili come la somma delle richieste delle singole centrali associate al servizio S per la quota da queste dedicata a tale servizio, cioè:

$$\begin{aligned}
 E_{S,\text{fuel},\text{in}} &= \sum_{X=1}^{N_t} \sum_{k=1}^{N_c} E_{X_k,S,\text{fuel},\text{in}} \\
 E_{S,\text{rfu},\text{in}} &= \sum_{X=1}^{N_t} \sum_{k=1}^{N_c} E_{X_k,S,\text{rfu},\text{in}} \\
 E_{S,\text{th},\text{in}} &= \sum_{X=1}^{N_t} \sum_{k=1}^{N_c} E_{X_k,S,\text{th},\text{in}} \\
 E_{S,\text{tc},\text{in}} &= \sum_{X=1}^{N_t} \sum_{k=1}^{N_c} E_{X_k,S,\text{tc},\text{in}} \\
 E_{S,\text{sol},\text{in}} &= \sum_{X=1}^{N_t} \sum_{k=1}^{N_c} E_{X_k,S,\text{sol},\text{in}}
 \end{aligned} \tag{11.29}$$

dove:

$E_{S,y,g,\text{in}}$ è il vettore energetico di tipo y in ingresso al sottosistema di generazione del servizio S , [kWh], dove il simbolo y alternativamente rappresenta:

- fuel = combustibile fossile;
- rfu = combustibile rinnovabile;
- th = energia termica da teleriscaldamento;
- tc = energia termica da teleraffrescamento;
- sol = energia solare (irradiazione solare sul piano dei collettori);

$E_{X_k,S,y,g,\text{in}}$ è il vettore energetico di tipo y in ingresso alla k -esima centrale termica di tipo X , [kWh], dove il simbolo y alternativamente rappresenta:

- N_t è il numero di tipi di sottosistemi di generazione, [-];
- N_c è il numero di sottosistemi di generazione di tipo X , [-];
- X è l'indice di tipo di centrale (HS,CS o HPS) , [-];
- k è l'indice che identifica la k -sima centrale di tipo X [-].

11.4 Energia richiesta dalle centrali

L'energia richiesta dalle centrali, termica (HS), cogenerativa (HPS), frigorifera (CS) e elettrica (ES), distinta per singolo vettore energetico, si calcola per ogni generico servizio S (riscaldamento, raffrescamento, climatizzazione invernale, climatizzazione estiva e ventilazione, produzione di acqua calda sanitaria, sia con generazione integrata che separata), in funzione delle diverse tipologie di generatore utilizzato come nel seguito descritto.

11.4.1 Centrale termica (HS)

Il fabbisogno energetico mensile della centrale termica complessivo, per singolo vettore energetico utilizzato, è dato da:

$$\begin{aligned}
 E_{HS, \text{fuel}, \text{in}} &= \sum_{k=1}^{N_{g,f}} (Q_{gn, \text{in}, k})_{\text{fuel}} \\
 E_{HS, \text{rfu}, \text{in}} &= \sum_{k=1}^{N_{g,rf}} (Q_{gn, \text{in}, k})_{\text{ren-fuel}} \\
 E_{HS, \text{th}, \text{in}} &= \sum_{k=1}^{N_{g,t}} (Q_{gn, \text{in}, k})_{\text{thermal}} \\
 E_{HS, \text{sol}, \text{in}} &= \sum_{k=1}^{N_{g,s}} (Q_{gn, \text{in}, k})_{\text{sol-therm}} \\
 W_{HS, \text{in}} &= \sum_{k=1}^{N_{g,el}} (W_{gn, \text{in}, k})_{\text{el-power}} \\
 W_{HS, \text{aux}} &= \sum_{k=1}^{N_{g,t} + N_{g,rf} + N_{g,t} + N_{g,s} + N_{g,el}} (W_{gn, k})_{\text{aux}}
 \end{aligned} \tag{11.30}$$

dove:

$E_{HS, y, \text{in}}$ è il vettore energetico di tipo y in ingresso alla centrale termica, [kWh], dove il simbolo y alternativamente rappresenta:

- fuel = combustibile fossile;
- rfu = combustibile rinnovabile;
- th = energia termica da teleriscaldamento;
- sol = energia solare (irradiazione solare sul piano dei collettori);

$Q_{gn, \text{in}, k}$ è l'energia non elettrica richiesta in ingresso dal generico k -esimo generatore termico, [kWh];

$W_{HS, \text{in}}$ è l'energia elettrica richiesta in ingresso alla centrale termica per alimentare direttamente i generatori di energia termica, [kWh];

$W_{gn, \text{in}, k}$ è l'energia elettrica richiesta in ingresso dal generico k -esimo generatore termico, [kWh]; ad esempio alimentazione di pompa di calore elettrica;

$W_{HS, \text{aux}}$ è l'energia elettrica richiesta in ingresso alla centrale termica per alimentare tutti gli ausiliari, [kWh];

$W_{gn, k}$ è l'energia elettrica richiesta dal k -esimo ausiliario di centrale e dei generatori presenti, [kWh];

$N_{g, f}$ è il numero di generatori utilizzanti combustibili fossili (gas, olio combustibile, ecc.) , [-];

$N_{g, rf}$ è il numero di generatori utilizzanti combustibili da fonti rinnovabili (biogas, biomasse, ecc.) , [-];

$N_{g, t}$ è il numero di generatori utilizzanti energia termica (sottostazioni di scambio rete teleriscaldamento) , [-];

$N_{g, s}$ è il numero di generatori utilizzanti energia solare, [-];

$N_{g, el}$ è il numero di generatori utilizzanti energia elettrica, [-].

Il fabbisogno energetico mensile della centrale termica, per singolo vettore energetico utilizzato e ripartito per singolo servizio S , è quindi dato, per le (11.8), da:

$$\begin{aligned}
 E_{HS,S,fuel,in} &= E_{HS,fuel,in} \cdot f_{HS,S} \\
 E_{HS,S,rfu,in} &= E_{HS,rfu,in} \cdot f_{HS,S} \\
 E_{HS,S,th,in} &= E_{HS,th,in} \cdot f_{HS,S} \\
 E_{HS,S,sol,in} &= E_{HS,sol,in} \cdot f_{HS,S} \\
 W_{HS,S,in} &= W_{HS,in} \cdot f_{HS,S} \\
 W_{HS,S,aux} &= W_{HS,aux} \cdot f_{HS,S}
 \end{aligned}
 \tag{11.31}$$

dove:

$f_{HS,S}$ è il fattore di ripartizione dell'energia termica fornita dalla centrale termica HS per il generico servizio S, [-].

11.4.2 Centrale cogenerativa (HP)

Il fabbisogno energetico mensile complessivo della centrale cogenerativa, per singolo vettore energetico utilizzato, è dato da:

$$\begin{aligned}
 E_{HPS,fuel,in} &= \sum_{k=1}^{N_{cg,f}} (q_{gn,in,th,k})_{fuel} + \sum_{k=1}^{N_{g,f}} (q_{gn,in,k})_{fuel} + \sum_{k=1}^{N_{g,hp}} (q_{gn,in,k})_{fuel} + \sum_{k=1}^{N_{cg,f}} (q_{gn,in,el,k})_{fuel} \\
 E_{HPS,rfu,in} &= \sum_{k=1}^{N_{cg,rf}} (q_{gn,in,th,k})_{ren-fuel} + \sum_{k=1}^{N_{g,rf}} (q_{gn,in,k})_{ren-fuel} + \sum_{k=1}^{N_{g,hpr}} (q_{gn,in,k})_{ren-fuel} + \sum_{k=1}^{N_{cg,rf}} (q_{gn,in,el,k})_{ren-fuel} \\
 E_{HPS,th,in} &= \sum_{k=1}^{N_{g,t}} (q_{gn,in,k})_{thermal} \\
 E_{HPS,sol,in} &= \sum_{k=1}^{N_{g,s}} (q_{gn,in,k})_{sol-therm} \\
 W_{HPS,el,in} &= \sum_{k=1}^{N_{g,el}} (w_{gn,in,k})_{el-power} \\
 W_{HPS,aux} &= \sum_{k=1}^{N_{cg,f}+N_{cg,rf}+N_{g,f}+N_{g,rf}+N_{g,t}+N_{g,s}+N_{g,el}+N_{g,hp}+N_{g,hpr}} (w_{gn,k})_{aux}
 \end{aligned}
 \tag{11.32}$$

dove:

$E_{HPS,y,in}$ è il vettore energetico di tipo y in ingresso alla centrale cogenerativa, [kWh], dove il simbolo y alternativamente rappresenta:

- fuel = combustibile fossile;
- rfu = combustibile rinnovabile;
- th = energia termica da teleriscaldamento;
- sol = energia solare (irradiazione solare sul piano dei collettori);

$Q_{gn,in,th,k}$ è l'energia da combustibile richiesta in ingresso dal generico k-esimo cogeneratore attribuita alla produzione termica, [kWh];

$Q_{gn,in,el,k}$ è l'energia da combustibile richiesta in ingresso dal generico k-esimo cogeneratore attribuita alla produzione elettrica, [kWh];

$Q_{gn,in,k}$ è l'energia non elettrica richiesta in ingresso dal generico k-esimo generatore termico e/o cogenerativo, [kWh];

- $W_{HPS,in}$ è l'energia elettrica richiesta in ingresso alla centrale cogenerativa per alimentare direttamente i generatori di energia termica (eventuale copresenza di pompe di calore), [kWh];
- $W_{gn,in,k}$ è l'energia elettrica richiesta in ingresso dal generico k-esimo generatore termico e/o cogenerativo, [kWh]; ad esempio alimentazione di pompa di calore elettrica;
- $W_{HPS,aux}$ è l'energia elettrica richiesta in ingresso alla centrale termica per alimentare tutti gli ausiliari, [kWh];
- $W_{gn,k}$ è l'energia elettrica richiesta dal k-esimo ausiliario di centrale e dei generatori presenti, [kWh];
- $N_{cg,f}$ è il numero di cogeneratori utilizzanti combustibili fossili (gas, olio combustibile, ecc.), [-];
- $N_{cg,rf}$ è il numero di cogeneratori utilizzanti combustibili da fonti rinnovabili (biogas, biomasse, ecc.), [-];
- $N_{g,f}$ è il numero di generatori utilizzanti combustibili fossili (gas, olio combustibile, ecc.), [-];
- $N_{g,rf}$ è il numero di generatori utilizzanti combustibili da fonti rinnovabili (biogas, biomasse, ecc.), [-];
- $N_{g,t}$ è il numero di generatori utilizzanti energia termica (sottostazioni di scambio rete teleriscaldamento), [-];
- $N_{g,s}$ è il numero di generatori utilizzanti energia solare, [-];
- $N_{g,el}$ è il numero di generatori utilizzanti energia elettrica, [-].

La centrale cogenerativa in aggiunta a soddisfare termicamente il generico servizio S, produce energia elettrica, che è data da:

$$W_{HP,out} = \sum_{k=1}^{N_{g,hp}} (W_{gn,out,k})_{hp} \quad (11.33)$$

$$W_{HP,out,ren} = \sum_{k=1}^{N_{g,hpr}} (W_{gn,out,ren,k})_{hpr}$$

dove:

- $W_{HPS,out}$ è l'energia elettrica prodotta dalla centrale cogenerativa utilizzando combustibili fossili, [kWh];
- $W_{gn,out,k}$ è l'energia elettrica prodotta dal generico k-esimo generatore cogenerativo utilizzando combustibili fossili, [kWh];
- $W_{HPS,out,ren}$ è l'energia elettrica prodotta dalla centrale cogenerativa utilizzando combustibili da fonti rinnovabili, [kWh];
- $W_{gn,out,ren,k}$ è l'energia elettrica prodotta dal generico k-esimo generatore cogenerativo utilizzando combustibili da fonti rinnovabili, [kWh];
- $N_{g,hp}$ è il numero di generatori cogenerativi utilizzanti combustibili fossili, [-];
- $N_{g,hpr}$ è il numero di generatori cogenerativi utilizzanti combustibili da fonti rinnovabili, [-].

Il fabbisogno energetico mensile della centrale cogenerativa, per singolo vettore energetico utilizzato e ripartito per singolo servizio S, è più complesso da determinare che nel caso di centrale termica in quanto i prodotti su cui ripartire la richiesta sono due: l'energia termica e l'energia elettrica. Si determinano quindi prima due quantità che non sono specifiche ad un servizio dell'edificio ma relative alla spesa energetica per la produzione di energia elettrica, cioè:

$$\begin{aligned}
 E_{HPS,el,fuel,in} &= \sum_{k=1}^{N_{g,f}} (Q_{gn,in,el,k})_{fuel} \\
 E_{HPS,el,rfu,in} &= \sum_{k=1}^{N_{g,rf}} (Q_{gn,in,el,k})_{ren-fuel}
 \end{aligned}
 \tag{11.34}$$

dove:

$E_{HPS,el,y,in}$ è il vettore energetico di tipo y in ingresso alla centrale cogenerativa, [kWh], relativo alla sola produzione di energia elettrica.

Il fabbisogno energetico mensile della centrale cogenerativa, per singolo vettore energetico utilizzato e ripartito per singolo servizio S , è quindi dato, per le (11.8), da:

$$\begin{aligned}
 E_{HPS,S,fuel,in} &= (E_{HPS,fuel,in} - E_{HPS,el,fuel,in}) \cdot f_{HPS,S} \\
 E_{HPS,S,rfu,in} &= (E_{HPS,rfu,in} - E_{HPS,el,rfu,in}) \cdot f_{HPS,S} \\
 E_{HPS,S,th,in} &= E_{HPS,th,in} \cdot f_{HPS,S} \\
 E_{HPS,S,sol,in} &= E_{HPS,sol,in} \cdot f_{HPS,S} \\
 W_{HPS,S,el,in} &= W_{HPS,el,in} \cdot f_{HPS,S}
 \end{aligned}
 \tag{11.35}$$

dove:

$f_{HPS,S}$ è il fattore di ripartizione dell'energia termica fornita dalla centrale cogenerativa HPS per il generico servizio S , [-].

11.4.1 Centrale frigorifera (CS)

Il fabbisogno energetico mensile complessivo della centrale frigorifera, per singolo vettore energetico utilizzato, è dato da:

$$\begin{aligned}
 E_{CS,fuel,g,in} &= \sum_{k=1}^{N_{g,f}} (Q_{gn,in,k})_{fuel} \\
 E_{CS,rfu,g,in} &= \sum_{k=1}^{N_{g,rf}} (Q_{gn,in,k})_{ren-fuel} \\
 E_{CS,tc,in} &= \sum_{k=1}^{N_{g,tc}} (Q_{gn,in,k})_{thermal} \\
 E_{CS,sol,in} &= \sum_{k=1}^{N_{g,s}} (Q_{gn,in,k})_{sol-therm} \\
 Q_{CS,H,in} &= \sum_{k=1}^{N_{g,th}} (Q_{gn,in,k})_{heat} \\
 W_{CS,in} &= \sum_{k=1}^{N_{g,el}} (W_{gn,in,k})_{el-power} \\
 W_{CS,aux} &= \sum_{k=1}^{N_{g,f}+N_{g,rf}+N_{g,tc}+N_{g,s}+N_{g,th}+N_{g,el}} (W_{gn,k})_{aux}
 \end{aligned}
 \tag{11.36}$$

dove:

- $E_{CS,y,in}$ è il vettore energetico di tipo y in ingresso alla centrale frigorifera, [kWh], dove il simbolo y alternativamente rappresenta:
- fuel = combustibile fossile;
 - rfu = combustibile rinnovabile;
 - tc = energia termica da teleraffrescamento;
 - sol = energia solare (irradiazione solare sul piano dei collettori);
- $Q_{gn,in,k}$ è l'energia non elettrica richiesta in ingresso dal generico k -esimo generatore frigorifero, [kWh];
- $Q_{CS,H,in}$ è l'energia termica in ingresso alla centrale frigorifera per alimentare gruppi frigoriferi ad assorbimento, adsorbimento, ecc., normalmente fornita dalla centrale termica, [kWh];
- $W_{CS,in}$ è l'energia elettrica richiesta in ingresso alla centrale frigorifera per alimentare direttamente i generatori di energia termica (frigoriferi a compressione, ecc.), [kWh];
- $W_{gn,in,k}$ è l'energia elettrica richiesta in ingresso dal generico k -esimo generatore termico, [kWh]; ad esempio alimentazione di pompa di calore elettrica in ciclo inverso o di un gruppo frigorifero;
- $W_{CS,aux}$ è l'energia elettrica richiesta in ingresso alla centrale frigorifera per alimentare tutti gli ausiliari, [kWh];
- $W_{gn,k}$ è l'energia elettrica richiesta dal k -esimo ausiliario di centrale e dei generatori presenti, [kWh];
- $N_{g,f}$ è il numero di generatori utilizzanti combustibili fossili (gas, olio combustibile, ecc.), [-];
- $N_{g,rf}$ è il numero di generatori utilizzanti combustibili da fonti rinnovabili (biogas, biomasse, ecc.), [-];
- $N_{g,tc}$ è il numero di generatori utilizzanti energia termica (sottostazioni di scambio rete teleraffrescamento), [-];
- $N_{g,th}$ è il numero di generatori utilizzanti energia termica fornita dalla centrale termica (assorbitori, ecc.), [-];
- $N_{g,s}$ è il numero di generatori utilizzanti energia solare, [-];
- $N_{g,el}$ è il numero di generatori utilizzanti energia elettrica, [-].

Il fabbisogno energetico mensile della centrale frigorifera, per singolo vettore energetico utilizzato e ripartito per singolo servizio S , è quindi dato, per le (11.9), da:

$$\begin{aligned}
 E_{CS,S,fuel,in} &= E_{CS,fuel,in} \cdot f_{CS,S} \\
 E_{CS,S,rfu,g,in} &= E_{CS,rfu,g,in} \cdot f_{CS,S} \\
 E_{CS,S,tc,in} &= E_{CS,tc,in} \cdot f_{CS,S} \\
 E_{CS,S,sol,in} &= E_{CS,sol,in} \cdot f_{CS,S} \\
 Q_{CS,S,H,in} &= Q_{CS,H,in} \cdot f_{CS,S} \\
 W_{CS,S,in} &= W_{CS,in} \cdot f_{CS,S} \\
 W_{CS,S,aux} &= W_{CS,aux} \cdot f_{CS,S}
 \end{aligned} \tag{11.37}$$

dove:

$f_{CS,S}$ è il fattore di ripartizione dell'energia termica fornita dalla centrale frigorifera CS per il generico servizio S , [-].

11.4.2 Centrale elettrica (ES)

Per calcolare il fabbisogno energetico mensile della centrale elettrica, per singolo vettore energetico utilizzato, nota dalla (11.24) l'energia elettrica che viene richiesta dall'edificio e dai suoi sistemi tecnici, $W_{ES,out}$, occorre calcolare l'autoproduzione di energia elettrica, W_{SG} , come:

$$W_{SG} = \sum_{k=1}^{N_{cg,f}} W_{HPS,out,k} + \sum_{k=1}^{N_{cg,rf}} W_{HPS,out,ren,k} + W_{WD,gn,out} + W_{PV,gn,out} \quad (11.38)$$

dove:

- $W_{HSP,out,k}$ è l'energia elettrica prodotta dalla k-esima centrale cogenerativa utilizzando combustibili fossili, [kWh];
- $W_{HPS,out,ren,k}$ è l'energia elettrica prodotta k-esima dalla centrale cogenerativa utilizzando combustibili da fonti rinnovabili, [kWh];
- $W_{WD,gn,out}$ è l'energia elettrica prodotta dal generatore eolico, [kWh];
- $N_{cg,f}$ è il numero di centrali cogenerative alimentate con combustibile fossile, [-];
- $N_{cg,rf}$ è il numero di centrali cogenerative alimentate con combustibile rinnovabile, [-].

e suddividerla nella quota direttamente utilizzata dall'edificio per i suoi usi, $W_{SG,iu}$, e in quella esportata alla rete elettrica per non corrispondenza tra potenza prodotta e potenza richiesta, $W_{SG,exp}$.

L'energia elettrica prodotta e direttamente utilizzata dall'edificio si calcola complessivamente come:

$$W_{SG,iu} = \left(f_{HP,iu} \cdot \sum_{k=1}^{N_{cg,f}} W_{HPS,out,k} + f_{HPR,iu} \cdot \sum_{k=1}^{N_{cg,rf}} W_{HPS,out,ren,k} \right) + f_{WD,iu} \cdot W_{WD,gn,out} + f_{PV,iu} \cdot W_{PV,gn,out} \quad (11.39)$$

dove:

- $f_{HP,iu}$ è la frazione dell'energia elettrica prodotta nel mese dalle centrali cogenerative, utilizzando combustibili fossili, che viene direttamente utilizzata dall'edificio, [-]; calcolabile secondo la (11.49);
- $f_{HPR,iu}$ è la frazione dell'energia elettrica prodotta nel mese dalle centrali cogenerative, utilizzando combustibili da fonti rinnovabili, che viene direttamente utilizzata dall'edificio, [-]; calcolabile secondo la (11.49);
- $f_{WD,iu}$ è la frazione dell'energia elettrica prodotta nel mese dal generatore eolico che viene direttamente utilizzata dall'edificio, [-]; calcolabile secondo la (11.49);
- $f_{PV,iu}$ è la frazione dell'energia elettrica prodotta nel mese dal generatore fotovoltaico che viene direttamente utilizzata dall'edificio, [-]; calcolabile secondo la (11.49).

La quota di autoconsumo, per singolo servizio S, è ricavabile, per le (11.28), come:

$$W_{SGS,iu} = W_{SGju} \cdot f_{ES,S} \quad (11.40)$$

- $f_{ES,S}$ è il fattore di ripartizione dell'energia elettrica per il generico servizio S, [-].

L'energia autoprodotta richiede, per ogni k-esima centrale cogenerativa, la quantità di combustibile calcolata con le equazioni (11.34), per cui, la richiesta di energia per l'autoproduzione per vettore energetico e per servizio è calcolabile, per le (11.28), come:

$$\begin{aligned}
 E_{HP,S,fuel,in} &= f_{ES,S} \cdot \sum_{k=1}^{N_{cg,f}} E_{HPS_k,el,fuel,in} \\
 E_{HPR,S,rfu,in} &= f_{ES,S} \cdot \sum_{k=1}^{N_{cg,rf}} E_{HPS_k,el,rfu,in}
 \end{aligned}
 \tag{11.41}$$

dove:

$E_{HP,S,fuel,in}$ è il vettore energetico combustibile fossile utilizzato dall'insieme delle centrali cogenerative per la sola quota di produzione di energia elettrica attribuito al servizio S, [kWh];

$E_{HP,S,rfu,in}$ è il vettore energetico combustibile rinnovabile utilizzato dall'insieme delle centrali cogenerative per la sola quota di produzione di energia elettrica attribuito al servizio S, [kWh];

$f_{ES,S}$ è il fattore di ripartizione dell'energia elettrica per il generico servizio S, [-].

La quota di energia autoprodotta e autoconsumata richiede solo una quota parte di tali vettori calcolabile, per le (11.49), come:

$$\begin{aligned}
 E_{HP,S,fuel,in,iu} &= f_{HP,iu} \cdot E_{HP,S,fuel,in} \\
 E_{HPR,S,rfu,in,iu} &= f_{HPR,iu} \cdot E_{HPR,S,fuel,in}
 \end{aligned}
 \tag{11.42}$$

dove:

$E_{HP,S,fuel,in,iu}$ è la quota del vettore energetico combustibile fossile utilizzato dall'insieme delle centrali cogenerative per la sola quota di produzione di energia elettrica internamente utilizzata attribuita al servizio S, [kWh];

$E_{HP,S,rfu,in,iu}$ è la quota del vettore energetico combustibile rinnovabile utilizzato dall'insieme delle centrali cogenerative per la sola quota di produzione di energia elettrica internamente utilizzata attribuita al servizio S, [kWh].

La quota di tali vettori combustibile, fossile e rinnovabile, associata all'energia esportata è di conseguenza pari a:

$$\begin{aligned}
 E_{HP,S,fuel,in,exp} &= (1 - f_{HP,iu}) \cdot E_{HP,S,fuel,in} \\
 E_{HPR,S,rfu,in,exp} &= (1 - f_{HPR,iu}) \cdot E_{HPR,S,fuel,in}
 \end{aligned}
 \tag{11.43}$$

Per il calcolo dell'energia elettrica esportata si considerano direttamente i singoli contributi dei diversi generatori, in quanto il relativo vettore elettrico prodotto può avere fattori di conversione in energia primaria differenti a seconda della tipologia di generatore considerato. Per cui si ha:

$$\begin{aligned}
 E_{ES,el,HP,out} &= W_{SG,HP,exp} = (1 - f_{HP,iu}) \cdot W_{HPS,out} \\
 E_{ES,el,HPR,out} &= W_{SG,HPR,exp} = (1 - f_{HPR,iu}) \cdot W_{HPS,gn,out,ren} \\
 E_{ES,el,WD,out} &= W_{SG,WD,exp} = (1 - f_{WD,iu}) \cdot W_{WD,gn,out} \\
 E_{ES,el,PV,out} &= W_{SG,PV,exp} = (1 - f_{PV,iu}) \cdot W_{PV,gn,out}
 \end{aligned}
 \tag{11.44}$$

o, complessivamente,

$$E_{ES,el,out} = \sum_j E_{ES,el,j,out} \equiv W_{SG,exp} = W_{SG} - W_{SG,iu} \quad (11.45)$$

Il fabbisogno energetico mensile della centrale elettrica, in termini di vettore elettrico importato dalla rete, è quindi dato da:

$$E_{ES,elin} = W_{ES,out} - W_{SG,iu} \quad (11.46)$$

dove:

$W_{ES,out}$ è l'energia elettrica che viene richiesta dall'edificio e dai suoi sistemi tecnici dato dalla (11.24), [kWh];

$W_{SG,iu}$ è l'energia elettrica autoprodotta e internamente utilizzata dato dalla (11.39), [kWh].

NOTA: Per come è definito il fabbisogno energetico mensile della centrale elettrica dato dalla (11.46) deve essere sempre maggiore o uguale a zero; se dovesse risultare negativo il calcolo della frazione esportata deve essere errato.

Il fabbisogno energetico mensile della centrale elettrica e i vettori elettrici eventualmente esportati, per tipologia di generatore e ripartito per singolo servizio S, è ricavabile, per le (11.28), come:

$$\begin{aligned} E_{ES,S,el,in} &= E_{ES,elin} \cdot f_{ES,S} \\ E_{ES,S,el,HP,out} &= E_{ES,el,HP,out} \cdot f_{ES,S} \\ E_{ES,S,el,HPR,out} &= E_{ES,el,HPR,out} \cdot f_{ES,S} \\ E_{ES,S,el,WD,out} &= E_{ES,el,WD,out} \cdot f_{ES,S} \\ E_{ES,S,el,PV,out} &= E_{ES,el,PV,out} \cdot f_{ES,S} \end{aligned} \quad (11.47)$$

dove:

$f_{ES,S}$ è il fattore di ripartizione dell'energia elettrica per il generico servizio S, [-].

11.4.2.1 Frazioni direttamente utilizzate della produzione elettrica dei generatori

Per il calcolo della frazione di energia elettrica prodotta dal singolo generatore e direttamente utilizzata dai servizi tecnologici oggetto del presente dispositivo, si considera una lista di priorità nella ripartizione della quota complessivamente disponibile che favorisce l'impiego prioritario dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili. In assenza di una logica predefinita di priorità tra i vari generatori, e limitatamente alla sola certificazione energetica, si considera la seguente sequenza ordinata:

1. generatore solare fotovoltaico (PV);
2. generatore eolico (WD);
3. cogeneratore utilizzante combustibile rinnovabile (HPR);

4. cogeneratore utilizzante combustibile non rinnovabile (HP).

Si attribuisce l'energia elettrica richiesta dai servizi dell'edificio nell'ordine elencato, fino a completa saturazione della capacità del primo generatore, poi se vi è ancora richiesta di energia elettrica questa viene soddisfatta dal secondo generatore, e così via.

Se si è quindi in presenza di N generatori elettrici, definita la frazione dell'energia elettrica prodotta nel mese dal generatore x-esimo ($x = PV, WD, HPR, HP$) e direttamente utilizzata dai servizi dell'edificio, $f_{x,iu}$, come:

$$f_{x,iu} \equiv W_{x,gn,out,iu} / W_{x,gn,out} \quad (11.48)$$

il generico fattore $f_{x,iu}$ si determina come:

$$\begin{aligned} \Delta W_{ES} &= W_{ES,out} \\ x = 1 &\Rightarrow N \end{aligned} \quad (11.49)$$

$$\begin{cases} f_{x,iu} = \text{MIN}[1; \Delta W_{ES} / W_{x,gn,out}] \\ \Delta W_{ES} = \Delta W_{ES} - W_{x,g,el} \\ \text{se } \Delta W_{ES} > 0 \Rightarrow x = x + 1 \Rightarrow \text{ripeti} \\ \text{se } \Delta W_{ES} \leq 0 \Rightarrow f_{x,iu} = 0 \text{ per } x \text{ maggiori} \end{cases}$$

dove:

- $W_{ES,out}$ è l'energia elettrica che viene richiesta dall'edificio e dai suoi sistemi tecnici dato dalla (11.24), [kWh];
- $W_{x,gn,out}$ è l'energia elettrica prodotta nel mese dal generatore x-esimo, [kWh];
- $W_{x,gn,out,iu}$ è l'energia elettrica prodotta nel mese dal generatore x-esimo e utilizzata direttamente dall'edificio, [kWh];
- $f_{x,iu}$ è la frazione dell'energia elettrica prodotta nel mese dal generatore x-esimo e direttamente utilizzata dai servizi dell'edificio, [-];
- N è il numero dei generatori elettrici presenti.

11.5 Energia termica richiesta al singolo generatore

Il generico sottosistema di generazione di energia termica è costituito da uno o più generatori che possono operare o in parallelo o in sequenza. Le tipologie di generatori presi in considerazione dal presente dispositivo sono:

- a) Generatori di calore;
- b) Generatori frigoriferi.

Indipendentemente dalla tipologia considerata di sottosistema e di generatori è possibile definire, in funzione della richiesta termica mensile alla centrale, quale è la quota di energia termica richiesta al singolo generatore di tale centrale, ovvero il suo fattore di carico utile medio, in modo del tutto generale come di seguito riportato.

11.5.1 Centrale con un unico generatore

Nota per il generico sottosistema di generazione X, eventualmente dedicato al servizio S, la sua richiesta termica $Q_{X,S,g,out}$, come specificato nel paragrafo § 11.1, nel caso di generatore unico l'energia termica che esso deve fornire è data da:

$$Q_{X,S,gn,out} = Q_{X,S,g,out} - k_{pf} W_{pf} \quad (11.50)$$

dove:

$Q_{X,S,gn,out,k}$ è l'energia termica richiesta al generatore del sottosistema di generazione x-esimo, [kWh];

k_{pf} è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita da un eventuale ausiliario, posto a valle del generatore (pompa/ventilatore) e operante sul fluido termovettore prodotto, non già attribuito né al sistema di distribuzione né al generatore stesso (ausiliario integrato), che si assume pari a 0,8, [-];

W_{pf} è l'energia elettrica assorbita da un eventuale ausiliario, posto a valle del generatore (pompa/ventilatore) e operante sul fluido termovettore prodotto, non già attribuito né al sistema di distribuzione né al generatore stesso (ausiliario integrato), [kWh], calcolata secondo l'equazione (11.84);

X è l'indice di tipo di centrale (H,C o HP) , [-];

S indice del servizio, come riportato al paragrafo § 11.1.2, solo se completamente a questo dedicato, altrimenti nessun indice, [-].

La potenza termica utile media giornaliera media mensile, $\Phi_{X,S,gn,out,av}$, richiesta al generatore di energia termica della centrale di tipo X (termica o frigorifera), eventualmente dedicato al servizio S, è data da:

$$\Phi_{X,S,gn,out,av} = Q_{X,S,gn,out} / \Delta t_{gn} \quad (11.51)$$

dove:

$Q_{X,S,gn,out}$ è l'energia termica richiesta al generatore del sottosistema di generazione X-esimo per soddisfare la richiesta del servizio S, [kWh];

Δt_{gn} è l'intervallo di tempo in cui il generatore è a disposizione del servizio, posto normalmente uguale alla durata del mese considerato (si veda la **(3.13)**), ma che, nel caso di produzione combinata con priorità potrebbe essere inferiore, [kh];

Il fattore di carico utile medio del generatore, $FC_{X,S}$, è:

$$FC_{X,S} = \Phi_{X,S,gn,out,av} / \Phi_{X,S,gn,out,N} \quad (11.52)$$

dove:

$\Phi_{X,S,gn,out,N}$ è la potenza termica utile nominale del generatore del sottosistema di generazione X-esimo, eventualmente dedicato al servizio S, [W].

11.5.2 Centrale con più generatori

Calcolata per il generico sottosistema di generazione X, eventualmente dedicato al servizio S, la sua richiesta termica $Q_{X,S,g,out}$, come specificato nel paragrafo § 11.1, se si hanno più generatori in parallelo, che

soddisfano lo stesso servizio o insieme di servizi, occorre ripartire in modo adeguato la richiesta totale sui singoli generatori, con la condizione che:

$$Q_{X,S,g,out} = \sum_{k=1}^{N_g} Q_{X,S,gn,out,k} + \left(\sum_{j=1}^{N_{aux}} k_{af,j} W_{af,j} \right)_{X,S} \quad (11.53)$$

dove:

$Q_{X,S,gn,out,k}$ è l'energia termica richiesta al generatore k-esimo del sottosistema di generazione X-esimo per soddisfare la richiesta del servizio S, [kWh];

$k_{af,k}$ è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita da un eventuale ausiliario, posto a valle del generatore k-esimo (pompa/ventilatore) e operante sul fluido termovettore prodotto, non già attribuito né al sistema di distribuzione né al generatore stesso (ausiliario integrato), che si assume pari a 0,8, [-];

$W_{af,k}$ è l'energia elettrica assorbita da un eventuale ausiliario, posto a valle del generatore (pompa/ventilatore) e operante sul fluido termovettore prodotto, non già attribuito né al sistema di distribuzione né al generatore stesso (ausiliario integrato), [kWh], calcolata secondo l'equazione (11.84);

N_g è il numero dei generatori presenti nel sottosistema di generazione X, [-];

N_{aux} è il numero dei ausiliari di centrale presenti nel sottosistema di generazione X, [-];

X è l'indice di tipo di centrale (H,C o HP), [-];

S indice del servizio, come riportato al paragrafo § 11.1.2, solo se completamente a questo dedicato, altrimenti nessun indice [-].

Si può definire quindi la richiesta termica netta, $Q_{X,S,g,net}$, all'insieme dei generatori del sottosistema di generazione X, eventualmente dedicato al servizio S, come:

$$Q_{X,S,g,net} = Q_{X,S,g,out} - \left(\sum_{j=1}^{N_{aux}} k_{af,j} W_{af,j} \right)_X \quad (11.54)$$

Occorre distinguere tra due diversi casi possibili:

- A. parallelo di soli generatori di calore a combustibili fossili;
- B. parallelo di generatori di calore a combustibili fossili e generatori di calore di tipo diverso o impieganti fonti di energia rinnovabile.

I sottosistemi di generazione di tipo A sono uno specifico sottoinsieme dei sottosistemi di generazione **monovalenti**: tutta l'energia termica utile richiesta è fornita solo da uno o più generatori di calore impieganti lo stesso vettore energetico.

I sottosistemi di generazione di tipo B sono invece sistemi **bivalenti o polivalenti**: l'energia termica utile richiesta è fornita da almeno un generatore che usi un vettore energetico diverso da quello impiegato dai restanti generatori

Se si hanno più generatori posti in parallelo, questi possono essere azionati con due diverse modalità, che modificano il modo di attribuire le frazioni di richiesta termica:

1. in parallelo puro (assenza di priorità di accensione);
2. con priorità di utilizzo predefinita (funzionamento in cascata).

Nel caso A di soli generatori di calore a combustibili fossili si opera come descritto nel paragrafo § 11.5.2.1, mentre nel caso B si opera come riportato nel paragrafo § 11.5.2.2.

11.5.2.1 Generatori di calore solo a combustibili fossili

Per calcolare le quote richieste ad ogni singolo generatore, $Q_{X,S,gn,out,k}$, si opera come segue:

1. si calcola il fattore di carico termico utile dell'insieme dei generatori appartenenti al sottosistema di generazione X, eventualmente dedicato al servizio S, definito come segue:

$$FC_{X,S,tot} = \frac{Q_{X,S,g,net}}{\left(\sum_{k=1}^{N_g} \Phi_{X,S,gn,out,N,k} \cdot \Delta t_{gn} \right)_x} \quad (11.55)$$

dove:

$\Phi_{X,S,gn,out,N,k}$ è la potenza termica utile nominale del generatore k-esimo della centrale di tipo X, eventualmente dedicato al servizio S, [W];

Δt_{gn} è l'intervallo di tempo in cui il generatore è a disposizione del servizio, posto normalmente uguale è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), ma che, nel caso di produzione combinata con priorità potrebbe essere inferiore, [kh];

N_g è il numero dei generatori presenti nel sottosistema di generazione X, eventualmente dedicato al servizio S, [-].

CASO 1 (assenza di priorità di accensione)

2. tutti i generatori hanno lo stesso fattore di carico termico utile, cioè per ogni k:

$$FC_{X,S,gn,k} \equiv FC_{X,S,tot} = \frac{Q_{X,S,gn,out,k}}{\Phi_{X,S,gn,out,N,k} \cdot \Delta t_{gn}} \quad (11.56)$$

CASO 2 (funzionamento in cascata)

3. i generatori sono regolati in modo da attivarsi in cascata, cioè il carico viene soddisfatto dal generatore n.1 e, solo quando questo non è più in grado di soddisfare la richiesta, parte il generatore n.2 e così via in sequenza ordinata crescente. Se il carico si riduce, l'ultimo generatore attivato va prima in regolazione e infine si spegne, e così via in sequenza ordinata decrescente. In questo caso i generatori hanno, mese per mese, un fattore di carico termico utile differenziato in base all'ordine di attivazione. Per il calcolo di tali fattori occorre definire la potenza termica utile media totale del sistema di generatori appartenente al sottosistema di generazione X, eventualmente dedicato al servizio S,:

$$\Phi_{X,S,tot,av} \equiv \frac{Q_{X,S,g,net}}{\Delta t_{gn}} = FC_{X,S,tot} \cdot \sum_{k=1}^{N_g} \Phi_{X,S,gn,out,N,k} \quad (11.57)$$

dove:

- $\Phi_{X,S,tot,av}$ potenza termica utile media totale del sistema di generatori appartenente al sottosistema di generazione X eventualmente dedicato al servizio S, [W];
- $\Phi_{X,S,gn,out,N,k}$ potenza termica utile nominale del generatore k-esimo eventualmente dedicato al servizio S, [W];
- $k_{af,k}$ è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari a valle del k-esimo generatore;
- $W_{af,N,k}$ è l'energia elettrica nominale assorbita dagli ausiliari a valle del k-esimo generatore, [kWh];
- Δt_{gn} è l'intervallo di tempo in cui il generatore è a disposizione del servizio, posto uguale è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh];
- N_g è il numero dei generatori presenti nel sottosistema di generazione X-esimo.

Il fattore di carico termico utile per ogni singolo generatore k è quindi dato da:

$$FC_{X,S,gn,k} = \frac{\Phi_{X,S,tot,av} - \sum_{j=1}^{k-1} \Phi_{X,S,gn,out,N,j}}{\Phi_{X,S,gn,out,N,k}} \quad (11.58)$$

con le seguenti condizioni:

- se $FC_{X,S,gn,k} > 1 \Rightarrow FC_{X,S,gn,k} = 1$
- se $FC_{X,S,gn,k} < 0 \Rightarrow FC_{X,S,gn,k} = 0$

NOTA: Il calcolo dei fattori di carico $FC_{X,S,k}$ per ogni generatore va eseguito in modo ordinato seguendo l'ordine di priorità di accensione.

Per entrambi i casi, la potenza termica utile media giornaliera media mensile, $\Phi_{X,S,gn,out,av}$, richiesta al generatore di calore k-esimo, eventualmente dedicato al servizio S, della centrale di tipo X, è data da:

$$\Phi_{X,S,gn,out,avk} = FC_{X,S,gn,k} \cdot \Phi_{X,S,gn,out,N,k} \quad (11.59)$$

mentre l'energia termica richiesta ad ogni singolo generatore è:

$$Q_{X,S,gn,outk} = \Phi_{X,S,gn,out,avk} \cdot \Delta t_{gn} \quad (11.60)$$

che rappresentano, insieme con il fattore di carico termico utile medio mensile, il dato d'ingresso per il calcolo delle perdite di ogni singolo generatore e quindi del sistema di generazione nel suo complesso.

NOTA: In assenza di regolazione di cascata e valvole di intercettazione lato acqua, si considerano tutti i generatori sempre inseriti e il carico termico viene ripartito uniformemente fra i generatori.

11.5.2.2 Generatori di calore di tipologia varia

Nel caso di impianti alimentati anche da fonti rinnovabili (solare, pompe di calore) o da altri sistemi di generazione (pompe di calore, cogenerazione, ecc.), la ripartizione del carico tra i generatori deve essere effettuata secondo un ordine di priorità, definito nel progetto, in modo di ottimizzare il fabbisogno di energia primaria, tenendo conto dei vettori energetici, dei rendimenti e delle caratteristiche dei singoli generatori. In generale, si attribuisce ai generatori non convenzionali la priorità per soddisfare il fabbisogno di energia termica utile richiesta dal servizio, mentre alla generazione tradizionale con combustibili fossili si attribuisce una funzione di integrazione.

In mancanza di un ordine di priorità specificato dal progetto e per la sola certificazione energetica, l'ordine di priorità di attivazione in cascata dei generatori è riportato nel Prospetto 11.II. Si calcola quindi preliminarmente, nelle varie condizioni di esercizio, il contributo delle fonti rinnovabili e/o alternative e alla generazione tradizionale si attribuisce il saldo di richiesta di energia.

| priorità ¹ | generatore | produzione di energia |
|--|---|--|
| 1 | solare termico | termica |
| 2 | cogeneratore | elettrica e termica cogenerata ^{b)} |
| 3 | caldaia a biomassa | termica |
| 4 | pompa di calore | termica |
| 5 | generatori di calore a combustibili fossili | termica |
| a) Qualora il sistema preveda l'utilizzo di energia termica utile da rete (teleriscaldamento) e di energia solare, a quest'ultima viene assegnata priorità 1. b) Si considerano solo sistemi cogenerativi a carico termico a seguire, cioè regolati in funzione del carico termico. L'energia termica è quindi la principale. | | |

Prospetto 11.II – Priorità dei generatori per la regolazione in cascata
 (Fonte: adattato da UNI TS 11300-2:2014)

Inoltre nel caso di presenza di generatori non tradizionali (i.e. di calore a combustibili fossili) la logica di controllo con priorità può non corrispondere con il controllo in cascata dei singoli generatori. L'impiego della priorità in tal caso non necessariamente implica che al crescere del carico si attivino in sequenza tutti i generatori previsti nella scala di priorità.

La logica di controllo diventa più complessa e può essere riassunta, assegnato un certo ordine di priorità per la centrale di termica (X=H), che copre tutti i servizi presenti (S=""), come segue:

- il generatore con priorità k si trova in esercizio con fattore di carico $FC_{H,gn,k} < 1$;
- nel mese successivo la richiesta di energia termica cresce e risulta $FC_{H,gn,k} > 1$: si deve attivare il generatore in priorità k+1 per soddisfare la richiesta;
- l'intervento del generatore k+1 con priorità successiva a k-esimo è però subordinato a diverse condizioni:
 1. dal fattore di carico del generatore k-esimo, quando questo dovrebbe essere $FC_{H,gn,k} > 1$;

2. dal soddisfacimento delle condizioni di operabilità per tale generatore k+1;
3. dall'eventuale disattivazione del generatore k-esimo.

Infatti, mentre di norma i generatori di calore a combustibili fossili sono sempre operabili, i generatori utilizzando fonti rinnovabili (pompe di calore comprese) o di tipo cogenerativo non sempre lo sono. È possibile infatti che si verifichino condizioni particolari (ad esempio temperatura di una sorgente termica per una pompa di calore) che, indipendente dal carico richiesto, obblighino alla disattivazione del generatore (ad esempio sorgente troppo fredda). Oppure, ad esempio, se si ha un cogeneratore e la richiesta di energia sia troppo bassa per consentirne l'impiego anche se posto con priorità massima. In tal caso il generatore ausiliario convenzionale, che doveva intervenire in cascata con ordine di priorità più alto, si trova a dover intervenire in sostituzione della pompa di calore o del cogeneratore. Tale possibile modalità di funzionamento viene nel seguito indicata come **funzionamento alternato**, in antitesi al funzionamento previsto indicato come **funzionamento contemporaneo**. Il funzionamento alternato può anche essere specificatamente progettato, proprio per ottimizzare il funzionamento del sistema, come nell'esempio del cogeneratore, che può avere una potenza termica minima erogata richiesta per il funzionamento. In questo caso se la richiesta è più bassa della potenza termica minima erogabile dal cogeneratore, parte l'ausiliario (quindi lo scavalca in priorità rispetto a quanto fissato ad esempio dal Prospetto 11.II); quando la potenza richiesta supera la soglia minima richiesta, si spegne l'ausiliario e si attiva il cogeneratore (**funzionamento alternato**).

Inoltre, se è presente un sistema solare termico, ai fini del presente dispositivo, si considera che la logica di controllo sia finalizzata alla massimizzazione dell'impiego di tale fonte rinnovabile e quindi sia posto sempre in priorità massima (1, come indicato nel Prospetto 11.II).

Infine se una zona termica è servita sia da impianto centrale con generatore di calore alimentato da combustibili fossili sia da un apparecchio alimentato da biomasse con fluido termovettore aria, la quota di energia termica utile fornita dal generatore a biomassa non può superare dei valori limite riportati nello specifico paragrafo § 11.8.4.1. Ciò comporta nella verifica di operabilità non solo una verifica di funzionamento/non funzionamento, ma anche la eventuale limitazione del fattore di carico al valore massimo ammissibile.

Per attribuire, mese per mese, le quote di fabbisogno termico lordo ad ogni generatore, occorre procedere come segue.

Verifica della presenza di un sistema solare termico

Se è presente un sistema solare termico, il fattore di carico per tale generatore non è usualmente definito in quanto è prassi dimensionare tali sistemi su base energetica e non in base alla potenza erogabile. Di

norma non è quindi disponibile una sua potenza nominale, che non viene di fatto normata. Di conseguenza, occorre preliminarmente calcolare, nel mese considerato, la prestazione del generatore solare, come specificato al paragrafo § 11.8.9, ottenendo quindi, per servizio, la quota di energia termica coperta dalla sola parte solare del sistema (se si ha un generatore ausiliario integrato), che corrisponde alla sua frazione solare (SF). In particolare, considerato che il generatore solare termico considerato nel presente dispositivo produce acqua o aria calda acqua per il solo riscaldamento degli ambienti e/o acqua calda sanitaria, gli unici servizi ad esso associabili sono solo quello per il riscaldamento ambientale (e/o climatizzazione invernale), H (e/o HA) e per la produzione di acqua calda sanitaria, W. Quindi si possono avere fino a tre distinte frazioni solari, una per il servizio riscaldamento, una per la climatizzazione invernale, e una per la produzione di acqua calda sanitaria, definite come:

$$SF_{X,H} \equiv \frac{Q_{X,H,STG,out,1}}{Q_{X,H,g,net}} \quad (11.61)$$

$$SF_{X,HA} \equiv \frac{Q_{X,HA,STG,out,1}}{Q_{X,H,g,net}} \quad (11.62)$$

$$SF_{X,W} \equiv \frac{Q_{X,W,STG,out,1}}{Q_{X,W,g,net}} \quad (11.63)$$

con la condizione

$$SF_{X,H} + SF_{X,HA} + SF_{X,W} \leq 1 \quad (11.64)$$

dove:

SF_H è la frazione solare di copertura del servizio riscaldamento, se il generatore vi è asservito, [-];

SF_{HA} è la frazione solare di copertura del servizio climatizzazione invernale, se il generatore vi è asservito, [-];

SF_W è la frazione solare di copertura del servizio acqua calda sanitaria, se il generatore vi è asservito, [-];

$Q_{X,H,STG,out}$ è la quota mensile di energia termica prodotta del generatore solare termico per il servizio riscaldamento ambientale, [kWh];

$Q_{X,HA,STG,out}$ è la quota mensile di energia termica prodotta del generatore solare termico per il servizio climatizzazione invernale, [kWh];

$Q_{X,W,STG,out}$ è la quota mensile di energia termica prodotta del generatore solare termico per il servizio produzione di acqua calda sanitaria, [kWh].

1 pedice che indica la priorità massima per il generatore solare termico;

$Q_{X,H,g,net}$ è l'energia termica richiesta al sottosistema di generazione di tipo X dal servizio riscaldamento al netto del recupero di energia termica dagli ausiliari di centrale, [kWh];

$Q_{X,HA,g,net}$ è l'energia termica richiesta al sottosistema di generazione di tipo X dal servizio climatizzazione invernale al netto del recupero di energia termica dagli ausiliari di centrale, [kWh];

$Q_{X,W,g,net}$ è l'energia termica richiesta al sottosistema di generazione dal servizio produzione acqua calda sanitaria al netto del recupero di energia termica dagli ausiliari di centrale, [kWh];

X è l'indice di tipo di centrale (H,C o HP) , [-].

Note le frazioni solari per servizio (se compresenti), si determina quindi la quota coperta dal generatore solare della richiesta termica netta per servizio, come:

$$Q_{X,H,STGout,1} = SF_{X,H} \cdot Q_{X,H,g,net} \tag{11.65}$$

$$Q_{X,HA,STGout,1} = SF_{X,HA} \cdot Q_{X,HA,g,net} \tag{11.66}$$

$$Q_{X,W,STGout,1} = SF_{X,W} \cdot Q_{X,W,g,net} \tag{11.67}$$

e quindi la quota restante che deve essere coperta dagli altri generatori, sia che siano completamente esterni al generatore solare, o facente parte dello stesso, si determina come:

$$Q_{X,H,g,net1} = (1 - SF_{X,H}) \cdot Q_{X,H,g,net} \tag{11.68}$$

$$Q_{X,HA,g,net1} = (1 - SF_{X,HA}) \cdot Q_{X,HA,g,net} \tag{11.69}$$

$$Q_{X,W,g,net1} = (1 - SF_{X,W}) \cdot Q_{X,W,g,net} \tag{11.70}$$

Determinazione del fattore di carico per gli altri generatori

Si calcola la potenza termica utile media totale del sistema di generatori, con l'esclusione del generatore solare termico, se presente, appartenente al sottosistema di generazione X, eventualmente dedicato al servizio S,:

$$\begin{aligned} \Phi_{X,S,tot,av} &\equiv \frac{Q_{X,S,g,net-1}}{\Delta t_{gn}} && \text{se generatore solare presente} \\ \Phi_{X,S,tot,av} &\equiv \frac{Q_{X,S,g,net}}{\Delta t_{gn}} && \text{se generatore solare assente} \end{aligned} \tag{11.71}$$

dove:

$\Phi_{X,S,tot,av}$ potenza termica utile media totale del sistema di generatori appartenente al sottosistema di generazione X, eventualmente dedicato al servizio S, [W];

Δt_{gn} è l'intervallo di tempo in cui il sottosistema di generazione è a disposizione del servizio richiesto, posto uguale è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh];

Il fattore di carico termico utile per ogni singolo generatore k è quindi dato, per k crescente fino a N_g , da:

$$FC_{X,S,gn,k} = \frac{\Phi_{X,S,tot,av} - \sum_{j=1}^k \Phi_{X,S,gn,out,N,j}}{\Phi_{X,S,gn,out,N,j}} \tag{11.72}$$

dove:

$\Phi_{X,S,gn,out,N,k}$ potenza termica utile nominale del generatore k-esimo, eventualmente dedicato al servizio S, della centrale di tipo X, [W];

con le seguenti condizioni:

a. se $FC_{X,S,gn,k} < 0 \Rightarrow FC_{X,S,gn,k} = 0$

b. se

$$0 < FC_{X,S,gn,k} < 1 \Rightarrow \begin{cases} \text{se } OP = "OK" \Rightarrow FC_{X,S,gn,k} > 0 \\ \text{se } OP = "NO" \Rightarrow FC_{X,S,gn,k} = 0 ; \Phi_{X,S,tot,av} = \Phi_{X,S,tot,av} + \Phi_{X,S,gn,out,N,j} \end{cases} \begin{cases} \text{se } FC_{X,S,gn,k} \leq FC_{gn,k,LIM} \Rightarrow FC_{X,S,gn,k} > 0 \\ \text{se } FC_{X,S,gn,k} > FC_{gn,k,LIM} \Rightarrow FC_{X,S,gn,k} = FC_{gn,k,LIM} \end{cases}$$

c. se

$$FC_{X,S,gn,k} > 1 \Rightarrow \begin{cases} \text{se } OP = "OK" \Rightarrow FC_{X,S,gn,k} = 1 \\ \text{se } OP = "NO" \Rightarrow FC_{X,S,gn,k} = 0 ; \Phi_{X,S,tot,av} = \Phi_{X,S,tot,av} + \Phi_{X,S,gn,out,N,j} \end{cases} \begin{cases} \text{se } FC_{X,S,gn,k} \leq FC_{gn,k,LIM} \Rightarrow FC_{X,S,gn,k} = 1 \\ \text{se } FC_{X,S,gn,k} > FC_{gn,k,LIM} \Rightarrow FC_{X,S,gn,k} = FC_{gn,k,LIM} \end{cases}$$

dove

OP="OK/NO" rappresenta la verifica fatta sulle condizioni di operabilità del generatore k-esimo secondo la sua specifica procedura di calcolo;

$FC_{gnk,LIM}$ rappresenta il valore limite massimo ammissibile di fattore di carico sul generatore k, [-].

La potenza termica utile media giornaliera media mensile, $\Phi_{X,S,gn,out,av}$, richiesta al generatore di calore k-esimo della centrale di tipo X, eventualmente dedicato al servizio S, è data da:

$$\Phi_{X,S,gn,out,avk} = FC_{X,S,gn,k} \cdot \Phi_{X,S,gn,out,N,k} \tag{11.73}$$

mentre l'energia termica richiesta ad ogni singolo generatore è:

$$Q_{X,S,gn,outk} = \Phi_{X,S,gn,out,avk} \cdot \Delta t_{gn} \tag{11.74}$$

che rappresentano, insieme con il fattore di carico termico utile medio mensile, il dato d'ingresso per il calcolo delle perdite di ogni singolo generatore e quindi del sistema di generazione nel suo complesso.

Il funzionamento in contemporaneo o in alternato dei vari generatori presenti è automaticamente definito dall'insieme dei loro fattori di carico.

11.5.3 Caso particolare della generazione combinata per il servizio riscaldamento e acqua calda sanitaria in assenza di generatore solare termico

La produzione di acqua calda sanitaria può essere realizzata con uno o più generatori di calore in comune con l'impianto per il riscaldamento e/o la climatizzazione invernale. Nel seguito per semplicità si indicherà come servizio aggiuntivo solo il riscaldamento ambientale (H); nel caso in cui sia presente invece il servizio

climatizzazione invernale, basta semplicemente sostituire il pedice H con HA. Nel caso in cui fossero invece compresenti, l'energia termica richiesta da ambo i servizi è quella che sostituisce nel seguito il termine energia termica richiesta alla generatore combinato per il riscaldamento ambientale.

In particolare si possono avere le seguenti tipologie di generatore:

- 1) generatore combinato per riscaldamento ambientale e produzione istantanea di acqua calda sanitaria in impianto autonomo;
- 2) generatore combinato per riscaldamento ambientale e produzione di acqua calda sanitaria con accumulo in impianto autonomo;
- 3) generatore combinato per riscaldamento ambientale e produzione di acqua calda sanitaria con accumulo in impianto centralizzato.

Nel caso (1) si assume che il generatore operi con priorità sulla produzione di acqua calda sanitaria, cioè quando viene richiesta la produzione di acqua calda sanitaria non fornisce energia per il riscaldamento (funzionamento alternato sui due servizi). In questo caso si procede nel seguente modo:

- a) si calcola il fattore di carico utile medio mensile relativo alla sola richiesta di produzione di acqua calda sanitaria come:

$$FC_{X,W} = \frac{Q_{X,W,gn,out} / \Delta t}{\Phi_{X,W,gn,out,N}} \quad (11.75)$$

$Q_{X,W,gn,out}$ è l'energia termica richiesta alla generatore combinato per la produzione di acqua calda sanitaria, [kWh];

Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

$\Phi_{X,W,gn,out,N}$ è la potenza termica utile nominale del generatore combinato relativa alla sola produzione di acqua calda sanitaria (i generatori combinati possono avere potenze differenziate quando sono asserviti alla produzione di acqua calda sanitaria o al riscaldamento ambientale), [W];

X è l'indice di tipo di centrale (H,C o HP), [-];

- b) si calcola l'intervallo di tempo nel mese, $\Delta t_{gn,W}$, di funzionamento del generatore combinato relativo alla sola richiesta di produzione di acqua calda sanitaria come:

$$\Delta t_{gn,W} = FC_W \cdot \Delta t \quad (11.76)$$

- c) si calcola l'intervallo di tempo residuo nel mese, $\Delta t_{gn,H}$, di funzionamento del generatore combinato relativo alla sola richiesta di produzione di energia termica per il riscaldamento ambientale:

$$\Delta t_{gn,H} = \Delta t - \Delta t_{gn,W} \quad (11.77)$$

- d) si calcola il fattore di carico utile medio mensile relativo alla sola richiesta di energia termica per il riscaldamento ambientale come:

$$FC_{X,H} = \frac{Q_{X,H,gn,out} / \Delta t_{gn,H}}{\Phi_{X,H,gn,out,N}} \quad (11.78)$$

- $Q_{X,H,gn,out}$ è l'energia termica richiesta al generatore combinato per il riscaldamento ambientale, [kWh];
- $\Delta t_{gn,H}$ è l'intervallo di tempo residuo nel mese, $\Delta t_{g,H}$, di funzionamento del generatore combinato relativo alla sola richiesta di produzione di energia termica per il riscaldamento ambientale, [kh].
- $\Phi_{X,H,gn,out,N}$ è la potenza termica utile nominale del generatore combinato relativa alla sola produzione di energia termica per il riscaldamento ambientale (i generatori combinati possono avere potenze differenziate quando sono asserviti alla produzione di acqua calda sanitaria o al riscaldamento ambientale), [W];
- e) si calcola per il generatore combinato la perdita termica relativa alla sola richiesta di produzione di acqua calda sanitaria, $Q_{X,W,gn,Js}$, nel periodo temporale ridotto, $\Delta t_{gn,W}$, con potenza termica utile nominale $\Phi_{X,W,gn,out,N}$:

$$Q_{X,W,gn,Js} = f(\Phi_{X,W,gn,out,N}; \Delta t_{gn,W}) \quad (11.79)$$

- f) si calcola per la della centrale termica combinata la perdita termica relativa alla sola richiesta di produzione di energia termica per il riscaldamento ambientale, $Q_{X,H,gn,Js}$, nel periodo temporale ridotto, $\Delta t_{gn,H}$, con potenza termica utile nominale $\Phi_{X,H,gn,out,N}$;

$$Q_{X,H,gn,Js} = f(\Phi_{X,H,gn,out,N}; \Delta t_{gn,H}) \quad (11.80)$$

- g) si calcola la perdita termica complessiva il generatore combinato come:

$$Q_{X,H+W,gn,Js} = Q_{X,H,gn,Js} + Q_{X,W,gn,Js} \quad (11.81)$$

Nel caso (2) e (3) la presenza dell'accumulo termico, normalmente dedicato all'acqua calda sanitaria, consente di coprire i carichi di punta della richiesta dell'acqua calda sanitaria e quindi, ai fini del presente dispositivo, si considera un funzionamento contemporaneo per entrambi i servizi e si effettua il calcolo mensile attribuendo nei mesi di attivazione del riscaldamento la somma dei due fabbisogni quale richiesta termica al generatore combinato.

Nei mesi di non attivazione del riscaldamento si effettua il calcolo sulla base dei soli fabbisogni per acqua calda sanitaria.

11.6 Perdite termiche dei sottosistemi di generazione: centrali termiche

L'energia termica complessivamente dispersa dal sottosistema di generazione centrale termica (produzione di calore) per la centrale di tipo X, eventualmente dedicato al servizio S, viene calcolata secondo la:

$$Q_{X,S,g,L} = Q_{X,S,g,Js} + (1 - k_{X,S,g}) \cdot W_{X,S,g,pf} \quad (11.82)$$

dove:

- $Q_{X,S,g,L}$ è l'energia termica dispersa complessivamente dal sottosistema di generazione di tipo X, eventualmente dedicato al servizio S, [kWh];
- $Q_{W,S,g,ls}$ è la perdita termica di processo del sottosistema di generazione di tipo X, eventualmente dedicato al servizio S, [kWh];
- $k_{X,S,g}$ è la frazione recuperata dell' energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di generazione; assunta pari a 0,8;
- $W_{X,S,g,pf}$ è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari (pompe/ventilatori) del sottosistema di generazione eventualmente presenti e non direttamente già associati né al sistema di distribuzione né ai generatori presenti in centrale, [kWh];
- X è l'indice di tipo di centrale (H,C o HP) , [-];
- S indice del servizio, come riportato al paragrafo § 11.1.2, solo se completamente a questo dedicato, altrimenti nessun indice [-].

con

$$Q_{X,S,g,ls} = \sum_{k=1}^{N_g} Q_{X,S,gn,ls,k} \quad (11.83)$$

dove:

- $Q_{X,S,gn,ls,k}$ è la perdita termica di processo del generatore k-esimo del centrale termica di tipo X, eventualmente dedicato al servizio S, [kWh];

e con

$$W_{X,S,g,pf} = \sum_{k=1}^{N_{pf}} \dot{W}_{X,S,g,pf,k} \cdot FC_{g,pf} \cdot \Delta t \quad (11.84)$$

dove:

- $\dot{W}_{X,S,g,pf,k}$ è la potenza elettrica di progetto di pompe/ventilatori del sottosistema di generazione eventualmente presenti a valle dei generatori sui fluidi termovettori prodotti e non direttamente già associati né al sistema di distribuzione né ai generatori presenti in centrale, [W]; in assenza di dati più precisi si può adottare la potenza elettrica nominale;
- $FC_{g,pf}$ è il fattore di carico delle pompe/ventilatori del sottosistema di generazione non direttamente già associati né al sistema di distribuzione né ai generatori presenti in centrale, [-];
- N_{pf} è il numero di pompe/ventilatori del sottosistema di generazione eventualmente presenti a valle dei generatori sui fluidi termovettori prodotti e non direttamente già associati né al sistema di distribuzione né ai generatori presenti in centrale, [-];
- Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Il fattore di carico delle pompe e/o ventilatori del sottosistema di generazione non direttamente già associati né al sistema di distribuzione né ai generatori presenti in centrale si determina come segue:

- funzionamento continuo: $FC_{g,pf} = 1$ (11.85)

- funzionamento variabile in funzione della richiesta: $FC_{g,pf} = FCC_{X,S}$ (11.86)

dove $FCC_{x,S}$ è il fattore di carico utile medio di centrale come definito al paragrafo § 11.1.4.

Ai fini del presente dispositivo le perdite delle centrali termiche vengono considerate recuperabili e recuperate **in modo diretto** (riduzione del fabbisogno termico per riscaldamento o incremento del fabbisogno termico per il raffrescamento) solo per le centrali a servizio della produzione di acqua calda sanitaria. In tal caso le perdite recuperate dalla zona termica associabile alla centrale termica (la zona la contiene o è ad essa adiacente) sono date da:

$$Q_{z,RL,g} = f_{R,W,g} \cdot (Q_{x,W,g,L} \cdot f_{pr}) \quad (11.87)$$

dove:

$f_{R,W,g}$ è il fattore di recupero del sottosistema di generazione asservito alla produzione di acqua calda sanitaria (Prospetto 11.III);

$Q_{x,W,g,L}$ è l'energia termica dispersa complessivamente dal sottosistema di generazione asservito alla produzione di acqua calda sanitaria, [kWh]; per scaldacqua autonomi a gas o elettrici al servizio di singola unità immobiliare è dato dall'equazione (11.89), per altri tipi di scaldacqua (solari, a pompa di calore) è ricavabile dagli specifici sottoparagrafi del paragrafo § 11.8;

f_{pr} è la frazione delle perdite di processo totali del generatore attribuibili al mantello e quindi recuperabili; per scaldacqua autonomi a gas o elettrici al servizio di singola unità immobiliare è desumibile dal Prospetto 11.IV. Per i sistemi combinati autonomi o i centralizzati le procedure riportate dagli specifici sottoparagrafi del paragrafo § 11.8 consentono di calcolare direttamente le perdite al mantello e quindi il prodotto ($Q_{x,S,g,L} \cdot f_{pr}$).

NOTA: Per sistemi, centralizzati e non, in cui il generatore è posto in un locale tecnico a temperatura non controllata le perdite sono parzialmente recuperabili solo se tale locale è adiacente ad una zona a temperatura controllata.

| Ubicazione generatore | $f_{R,W,g}$ |
|--|-------------|
| All'aperto | 0 |
| In locale non riscaldato o raffrescato | 0,7 |
| Entro lo spazio riscaldato o raffrescato | 1 |

Prospetto 11.III – Fattore di recupero per generatori termici
(Fonte: adattato da UNI TS 11300-2:2014)

| Tipo di fonte | Tipo di bruciatore | f_{pr} |
|-------------------|-----------------------------|----------|
| Combustibile | Bruciatore atmosferico | 0,50 |
| | Bruciatore ad aria soffiata | 0,75 |
| Energia elettrica | - | 1 |

Prospetto 11.IV – Frazione delle perdite attribuite al mantello in funzione del tipo fonte energetica e di bruciatore f_{pr}
(Fonte: adattato UNI TS 11300-2:2014)

In tutti gli altri casi le perdite delle centrali termiche vengono considerate solo parzialmente recuperabili **in modo indiretto** tramite un contributo al riscaldamento del fluido termovettore, già conteggiato nella ridotta richiesta di energia termica ai generatori (equazioni (11.50) e (11.53)), per gli ausiliari di centrale, o nella ridotta richiesta di energia da parte dei generatori, per gli ausiliari integrati.

11.7 Fabbisogno di energia elettrica dei sottosistemi di generazione termica

Il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del generico sottosistema di generazione di tipo X, eventualmente dedicato al servizio S, $W_{X,S,g}$, è dato da:

$$W_{X,S,g} = \left[\sum_{j=1}^{N_{aux}} \dot{W}_{X,S,g,j} \cdot FC_{X,g,pf} \right] \cdot \Delta t_g + \sum_{k=1}^{N_g} W_{X,S,g,n,k} \quad (11.88)$$

dove:

- $W_{X,S,g}$ è il fabbisogno mensile di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema X di generazione, [kWh];
- $\dot{W}_{X,S,g,j}$ è la potenza elettrica di progetto dell'ausiliario j-esimo al servizio del sistema di generazione X e non direttamente a servizio dei generatori, [W]; in assenza di dati più precisi si può adottare la potenza elettrica nominale;
- $W_{X,S,g,n,k}$ è il fabbisogno mensile di energia elettrica dell'ausiliario al servizio del k-esimo generatore presente nel sistema di generazione X, [W]; calcolato come specificato per il singolo generatore;
- $FC_{X,S,g,pf}$ è il fattore di carico delle pompe e/o ventilatori del sottosistema di generazione non direttamente già associati né al sistema di distribuzione né ai generatori presenti in centrale, [-], calcolato con la (11.85) o la (11.86);
- Δt_g è l'intervallo di tempo in cui il sottosistema di generazione X è a disposizione del servizio, posto normalmente uguale alla durata del mese considerato (si veda la (3.13)), ma che, nel caso di produzione combinata con priorità potrebbe essere inferiore, [kh];
- N_{aux} è il numero di ausiliari presenti nel sottosistema X di generazione con l'esclusione di quelli direttamente controllati dai singoli generatori o associati alla distribuzione, [-];
- N_g è il numero di ausiliari presenti nel sottosistema X di generazione direttamente controllati dai singoli generatori, [-];
- X è l'indice di tipo di centrale (H,C o HP), [-];
- S indice del servizio, come riportato al paragrafo § 11.1.2, solo se completamente a questo dedicato, altrimenti nessun indice [-].

11.8 Generatori termici: generatori di calore

Le tipologie di generatori di calore prese in considerazione del presente dispositivo sono:

- Generatori di acqua calda a combustione con fiamma utilizzando combustibili fossili;
- Generatori di acqua calda a combustione con fiamma alimentati a biomassa;
- Generatori di acqua calda elettrici ad effetto Joule;
- Generatori di aria calda a fuoco diretto utilizzando combustibili fossili;
- Pompe di calore;
- Sottostazione di teleriscaldamento;
- Generatori solari termici.

Vengono trattati in modo separato e specifico i generatori di calore a servizio esclusivo della produzione di acqua calda sanitaria.

Le perdite di generazione, in generale, dipendono non solo dalle caratteristiche del generatore di calore, ma sono fortemente influenzate anche dalle modalità di inserimento del generatore nell'impianto e, in particolare, dal suo dimensionamento rispetto al fabbisogno dell'edificio, dalle modalità di installazione e dalla temperatura dell'acqua (media e/o di ritorno al generatore) nelle condizioni di esercizio (medie mensili).

L'energia richiesta dal generico generatore e le sue perdite termiche sono, direttamente o indirettamente, calcolate attraverso la determinazione del rendimento del generatore, tenendo presente che il rendimento medio stagionale di generazione differisce dai rendimenti a pieno carico e a carico parziale, ottenuti con prove di laboratorio nelle condizioni normalizzate di prova.

11.8.1 Generatori di calore specifici per la sola produzione di acqua calda sanitaria

La produzione di acqua calda sanitaria può essere realizzata con uno o più generatori di calore a tale scopo dedicati (impianto centralizzato ovvero impianto autonomo di produzione per singola unità immobiliare):

- 1) scaldacqua autonomi di tipo istantaneo o ad accumulo a combustibile o a resistenza elettrica;
- 2) scaldacqua autonomi di tipo istantaneo o ad accumulo a pompa di calore o solari;
- 3) generatore dedicato in impianto centralizzato;

Nel caso di produzione di acqua calda sanitaria separata dal riscaldamento, se il generatore è uno scaldacqua autonomo al servizio di singola unità immobiliare (caso 1) le perdite termiche complessive del sottosistema di generazione coincidono con le perdite del generatore e si calcolano tramite la:

$$Q_{W,g,L} \equiv Q_{W,gn,L} = \left(\frac{1}{\epsilon_{gW}} - 1 \right) \cdot Q_{W,g,out} \quad (11.89)$$

dove:

$Q_{W,g,L}$ è la perdita termica complessiva del sottosistema di generazione (che coincide con quella di processo), [kWh];

ϵ_{gW} è l'efficienza media giornaliera media mensile del sistema di generazione, assunta costante per tutto l'anno, che per gli scaldacqua autonomi, in mancanza del dato fornito dal costruttore, è deducibile dal Prospetto 11.V;

$Q_{W,g,out}$ è l'energia termica richiesta al sottosistema di generazione, [kWh].

Quindi se il generatore è di tipo 1) per il calcolo delle perdite di generazione si considerano i rendimenti stagionali di generazione certificati del prodotto, ove disponibili e, in mancanza di questi, i dati del Prospetto 11.V validi per scaldacqua con combustione a fiamma di gas o elettrici, riportati in funzione del rendimento istantaneo nominale del prodotto, η_N .

Per gli scaldacqua diversi da quelli contemplati nel Prospetto 11.V, come ad esempio nel caso di scaldacqua a pompa di calore o di scaldacqua solare si utilizzano i metodi descritti nel specifico paragrafo che tratta tali generatori.

I rendimenti forniti dal Prospetto 11.V tengono già conto, per gli apparecchi ad accumulo, della perdita di accumulo, $Q_{W,sjs}$, (valutata pari a circa il 10%) che in tal caso non va considerata nell'equazione (7.3) o (7.4).

| Tipo di apparecchio | Versione | $\eta_N^{1)}$ | $\epsilon_{gW}^{1)}$ |
|---|------------------------------|---------------|----------------------|
| Generatore a gas di tipo istantaneo per sola produzione di acqua calda sanitaria | Tipo B con pilota permanente | 0,75 | 0,45 |
| | Tipo B senza pilota | 0,85 | 0,77 |
| | Tipo C senza pilota | 0,88 | 0,80 |
| Generatore a gas ad accumulo per sola produzione di acqua calda sanitaria | Tipo B con pilota permanente | 0,75 | 0,40 |
| | Tipo B senza pilota | 0,85 | 0,72 |
| | Tipo C senza pilota | 0,88 | 0,75 |
| Bollitore elettrico ad accumulo ¹⁾ | | 0,95 | 0,75 |
| Bollitori ad accumulo a fuoco diretto | A camera aperta | 0,84 | 0,70 |
| | A condensazione | 0,98 | 0,90 |
| ¹⁾ I dati di rendimento riportati possono essere utilizzati in mancanza di dati forniti dal fabbricante dell'apparecchio. ²⁾ Ai fini del calcolo dell'energia primaria, il fabbisogno di energia deve essere considerato tra i fabbisogni elettrici, applicando il relativo fattore di conversione NOTA: I rendimenti forniti dal prospetto tengono già conto, per gli apparecchi ad accumulo, della perdita di accumulo, valutata pari a circa il 10%. | | | |

Prospetto 11.V – Rendimenti convenzionali degli scaldacqua autonomi con sorgente interna di calore
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

Nel caso (2)e (3), il calcolo delle perdite si effettua con le procedure specificate nei successivi punti del paragrafo § 11.8 in funzione dello specifico tipo di generatore adottato.

11.8.2 Generatori di acqua calda a combustione con fiamma utilizzando combustibili fossili

La determinazione delle perdite di generazione e dell'energia richiesta dal generatore può essere effettuata:

- 1) mediante prospetti contenenti valori pre-calcolati del rendimento di generazione per le tipologie più comuni di generatori di calore in base al dimensionamento e alle condizioni d'installazione;
- 2) mediante metodi di calcolo.

La determinazione tramite valori precalcolati del rendimento di generazione è consentita, ai fini del presente dispositivo, solo per la certificazione energetica.

I valori pre-calcolati del rendimento di generazione dei prospetti di cui al punto (1) evidenziano le forti variazioni di rendimento determinate dal dimensionamento del generatore e dalle condizioni d'installazione e di esercizio indicate nei prospetti. La valutazione del rendimento di generazione in condizioni diverse da quelle indicate nei prospetti richiede il ricorso al calcolo, punto (2).

I rendimenti dei generatori termici a combustione a fiamma utilizzando combustibili fossili, secondo la Direttiva 92/42/CEE, sono determinati in condizioni nominali di prova. Ai fini della determinazione delle perdite, tali rendimenti devono essere corretti per tenere conto della temperatura fluido termovettore (solitamente acqua) nelle condizioni effettive di esercizio, che può essere diversa da quella nelle condizioni nominali di prova.

11.8.2.1 Perdite termiche e energia richiesta tramite rendimenti precalcolati

La perdita termica di processo del generatore si calcola come:

$$Q_{gn,ls} = \left(\frac{1}{\eta_{gH}} - 1 \right) \cdot Q_{gn,out} \quad (11.90)$$

dove:

$Q_{gn,ls}$ è la perdita termica di processo del generatore, [kWh];

η_{gH} è il rendimento termico utile del generatore di acqua calda calcolato come riportato in prospetti, [%];

$Q_{gn,out}$ è l'energia termica richiesta al generatore d' acqua calda, [kWh].

Analogamente, l'energia richiesta in ingresso al generatore a combustione (energia del combustibile) è data da:

$$Q_{gn,in} = \frac{Q_{gn,out}}{\eta_{gH}} \quad (11.91)$$

Il rendimento precalcolato si ricava dal , come:

$$\eta_{gn} = \eta_{base} + F1 + F2 + F3 + F4 + F5 + F6 + F7 \quad (11.92)$$

dove

F1 rapporto fra la potenza del generatore installato e la potenza di progetto richiesta;

F2 installazione all'esterno;

F3 camino di altezza maggiore di 10 m;

F4 temperatura media di caldaia maggiore di 65 °C in condizioni di progetto;

F5 generatore monostadio;

F6 camino di altezza maggiore di 10 m in assenza di chiusura dell'aria comburente all'arresto (non applicabile ai premiscelati);

F7 temperatura di ritorno in caldaia nel mese più freddo.

Per generatori modulanti, F1 si determina con riferimento alla potenza minima regolata. La potenza di progetto richiesta è quella calcolata secondo la UNI EN 12831. Per valori di rapporto tra potenza del generatore installato e potenza richiesta compresi tra i valori indicati nei prospetti si procede per

interpolazione lineare. Per valori di rapporto superiori al massimo indicato si prenda il corrispondente valore di quest'ultimo.

Come già precisato, qualora non si identifichi la tipologia del generatore tra quelle dei prospetti o quando le condizioni al contorno non siano comprese tra quelle indicate, si deve ricorrere al calcolo.

| Valore di base | F1 | | | F2 | F3 | F4 |
|--|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 4 | | | |
| 90 | 0 | -2 | -6 | -9 | -2 | -2 |
| Note: - valore di base riferito a: caldaia a due stelle, sovradimensionamento 1 riferito al minimo di modulazione, installazione all'interno, camino alto meno di 10 m, temperatura di mandata in condizioni di progetto < 65 °C. - per generatori antecedenti al 1996 valore di base 84. - per generatori classificati * (1 stella) valore di base 88. | | | | | | |

Prospetto 11.VI –Rendimenti precalcolati: Generatori di calore atmosferici tipo B classificati ** (2 stelle)
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

| Valore di base | F1 | | | F2 | F4 |
|---|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 4 | | |
| 93 | 0 | -2 | -5 | -4 | -1 |
| Nota: - valore di base riferito a: caldaia a tre stelle, sovradimensionamento 1 riferito al minimo di modulazione, installazione all'interno, camino alto meno di 10 m, temperatura di mandata in condizioni di progetto <65 °C. | | | | | |

Prospetto 11.VII –Rendimenti precalcolati: Generatori di calore a camera stagna tipo C per impianti autonomi classificati * (3 stelle)**
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

| Valore di base | F1 | | | F2 | F4 | F5 | F6 |
|---|----|------|-----|----|----|----|----|
| | 1 | 1,25 | 1,5 | | | | |
| 90 | 0 | -1 | -2 | -1 | -1 | -1 | -2 |
| Note: - valore di base riferito a: caldaia a due stelle, sovradimensionamento 1 riferito alla potenza nominale, installazione in centrale termica, chiusura aria comburente all'arresto (o bruciatore a premiscelazione totale), temperatura di mandata in condizioni di progetto < 65 °C. - per generatori antecedenti al 1996 valore di base 86. - per generatori classificati * (1 stella) valore di base 88. | | | | | | | |

Prospetto 11.VIII –Rendimenti precalcolati: Generatori di calore a gas o gasolio, bruciatore ad aria soffziata o premiscelati, modulanti, classificati ** (2 stelle)
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

| ΔT fumi – acqua ritorno a P_n | Valore di base | F1 | | | F2 | F5 | F7 | | | |
|---|-------------------|----|------|-----|----|----|----|----|----|-----|
| | | 1 | 1,25 | 1,5 | | | 40 | 50 | 60 | >60 |
| <12 °C | 104 | 0 | 0 | 0 | -1 | -3 | 0 | -4 | -6 | -7 |
| da 12 a 24 °C | 101 | 0 | 0 | 0 | -1 | -3 | 0 | -2 | -3 | -4 |
| 24 °C | 99 | 0 | 0 | 0 | -1 | -2 | 0 | -1 | -2 | -3 |

Note:

- valori di base riferiti a: caldaia a quattro stelle, regolazione modulante su aria e gas, sovradimensionamento 1 riferito alla potenza nominale, installazione in centrale termica, chiusura aria comburente all'arresto (o bruciatore a premiscelazione totale), ΔT finale acqua ritorno/fumi per classi <12 – da 12 a 24 °C – oltre 24 °C a potenza nominale.
- Nel caso di installazione di caldaie a condensazione con accumulo in esterno, il fattore di correzione F2 è pari a -3.

Prospetto 11.IX –Rendimenti precalcolati: Generatori di calore a gas a condensazione ** (4 stelle)**
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

11.8.2.2 Rendimenti e perdite corretti a potenza nominale

Il rendimento corretto a potenza termica nominale (potenza massima) nelle condizioni di effettivo funzionamento, $\eta_{gn,N,cor}$, si calcola in percentuale come segue:

$$\eta_{gn,N,cor} = \eta_{gn,N} + f_{cor,N} \cdot (\theta_{gn,test,N} - \theta_{gn,N}) \quad (11.93)$$

dove:

$\eta_{gn,N}$ è il rendimento a potenza termica nominale determinato secondo le norme pertinenti, [%]; in mancanza di dati forniti dal produttore, i valori possono essere calcolati con l'equazione:

$$\eta_{gn,N} = A + B \cdot \log_{10}(\Phi_{gn,out,N} / 1000) \quad (11.94)$$

con

$\Phi_{gn,out,N}$ potenza termica utile nominale del generatore, [W], col limite massimo di 400.000 W; se la potenza utile nominale è maggiore di 400.000 W, il rendimento si determina utilizzando sempre tale limite;

A,B sono i parametri riportati nel Prospetto 11.X;

$f_{cor,N}$ è il fattore di correzione del rendimento a potenza nominale e esprime la variazione del rendimento in funzione della temperatura media dell'acqua nel generatore, [%]; in assenza di dati specifici è desumibile dal Prospetto 11.XI;

$\theta_{gn,test,N}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore nelle condizioni di prova a potenza nominale [°C], desumibile dal Prospetto 11.XI;

$\theta_{gn,N}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore nelle condizioni effettive di funzionamento a potenza nominale, [°C].

Il fattore di correzione del rendimento a carico nominale, $f_{cor,N}$, può essere determinato direttamente dalla conoscenza dei valori di rendimento a carico nominale alle temperature medie di prova e ad una temperatura media di prova addizionale, tramite la relazione:

$$f_{cor,N} = \frac{\eta_{gn,N}(\theta_{gn,test,N}) - \eta_{gn,N}(\theta_{gn,test,N,add})}{\theta_{gn,test,N,add} - \theta_{gn,test,N}} \quad (11.95)$$

dove:

- $\eta_{gn,N}$ è il rendimento a potenza termica nominale determinato alla temperatura di test, [%];
- $\eta_{gn,N,add}$ è il rendimento a potenza termica nominale addizionale determinato alla temperatura addizionale dichiarata, [%];
- $\theta_{gn,test,N}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore nelle condizioni di prova a potenza nominale [°C], desumibile dal Prospetto 11.XI;
- $\theta_{gn,test,N,add}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore a potenza nominale nelle condizioni di prova addizionali, [°C].

In assenza di tali dati addizionali si usa il Prospetto 11.XI.

| Tipo di generatore | Anno costruzione | A % | B % | C % | D % | $\theta_{gn,w,min}$ °C |
|---|------------------|------|-----|------|-----|------------------------|
| Generatore a combustibile fossile solido | prima 1978 | 78,0 | 2,0 | 72,0 | 3,0 | 50 °C |
| | 1978 a 1994 | 80,0 | 2,0 | 75,0 | 3,0 | 50 °C |
| | dopo 1994 | 81,0 | 2,0 | 77,0 | 3,0 | 50 °C |
| Generatori convenzionali | | | | | | |
| Generatori atmosferici a gas | prima 1978 | 79,5 | 2,0 | 76,0 | 3,0 | 50 °C |
| | 1978 a 1994 | 82,5 | 2,0 | 78,0 | 3,0 | 50 °C |
| | dopo 1994 | 85,0 | 2,0 | 81,5 | 3,0 | 50 °C |
| Generatori con bruciatore a tiraggio forzato | prima 1978 | 80,0 | 2,0 | 75,0 | 3,0 | 50 °C |
| | 1978 to 1986 | 82,0 | 2,0 | 77,5 | 3,0 | 50 °C |
| | 1987 a 1994 | 84,0 | 2,0 | 80,0 | 3,0 | 50 °C |
| | dopo 1994 | 85,0 | 2,0 | 81,5 | 3,0 | 50 °C |
| Generatori a bassa temperatura | | | | | | |
| Generatori atmosferici a gas | 1978 a 1994 | 85,5 | 1,5 | 86,0 | 1,5 | 35 °C |
| | dopo 1994 | 88,5 | 1,5 | 89,0 | 1,5 | 35 °C |
| Generatori con bruciatore a tiraggio forzato | prima 1987 | 84,0 | 1,5 | 82,0 | 1,5 | 35 °C |
| | 1987 a 1994 | 86,0 | 1,5 | 86,0 | 1,5 | 35 °C |
| | dopo 1994 | 88,5 | 1,5 | 89,0 | 1,5 | 35 °C |
| Generatori a condensazione | | | | | | |
| Generatori a condensazione | prima 1987 | 89,0 | 1,0 | 95,0 | 1,0 | 20 °C |
| | 1987 a 1994 | 91,0 | 1,0 | 97,5 | 1,0 | 20 °C |
| | dopo 1994 | 92,0 | 1,0 | 98,0 | 1,0 | 20 °C |
| Generatori a condensazione ad alta prestazione ¹⁾ | dopo 1999 | 94,0 | 1,0 | 103 | 1,0 | 20 °C |
| 1) Se per i generatori a condensazione ad alte prestazioni vengono impiegati i valori dichiarati, perché i generatori considerati lo siano il rendimento dichiarato deve essere non minore del rendimento ricavabile dai valori su riportati NOTA Le temperature di test sono riportate nel Prospetto 11.XI e nel Prospetto 11.XII.. | | | | | | |

Prospetto 11.X – Parametri per la determinazione dei rendimenti minimi
(Fonte: adattato da UNI EN 15316-4-1:2008)

| Tipo di generatore | Temperatura media dell'acqua nel generatore nelle condizioni di prova a pieno carico $\theta_{gn, test, N}$ | Fattore di correzione [%/°C] $f_{cor, N}$ |
|--------------------------------------|--|--|
| Generatore standard | 70 °C | 0,04 |
| Generatore a bassa temperatura | 70 °C | 0,04 |
| Generatore a condensazione a gas | 70 °C | 0,20 |
| Generatore a condensazione a gasolio | 70 °C | 0,10 |

Prospetto 11.XI – Fattore di correzione del rendimento a carico nominale $f_{cor, N}$
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

Le perdite termiche corrette a potenza termica nominale $\Phi_{gn, I, N, cor}$ sono date da:

$$\Phi_{gn, I, N, cor} = \frac{100 - \eta_{gn, N, cor}}{\eta_{gn, N, cor}} \cdot \Phi_{gn, out, N} \quad (11.96)$$

dove:

$\Phi_{gn, out, N}$ è la potenza termica utile nominale del generatore, [W].

11.8.2.3 Rendimenti e perdite corretti a potenza intermedia

Il rendimento corretto a potenza termica intermedia $\eta_{gn, I, cor}$ nelle condizioni di effettivo funzionamento si calcola come segue:

$$\eta_{gn, I, cor} = \eta_{gn, I} + f_{cor, I} \cdot (\theta_{gn, test, I} - \theta_{gn, des, I}) \quad (11.97)$$

dove:

$\eta_{gn, I}$ è il rendimento a potenza termica intermedia determinato secondo le norme pertinenti, [%]; in mancanza di dati forniti dal produttore, i valori possono essere calcolati con l'equazione:

$$\eta_{gn, I} = \frac{C + D \cdot \log_{10}(\Phi_{gn, out, N} / 1000)}{f_f} \quad (11.98)$$

con

$\Phi_{gn, out, N}$ potenza termica utile nominale del generatore, [W], col limite massimo di 400.000 W; se la potenza utile nominale è maggiore di 400.000 W, il rendimento si determina utilizzando sempre tale limite;

C, D sono i parametri riportati nel Prospetto 11.X;

f_f è un fattore di correzione che vale 1,05 per i generatori a condensazione alimentati ad olio combustibile e 1,00 in tutti gli altri casi;

$f_{cor, I}$ è il fattore di correzione del rendimento a potenza intermedia e prime la variazione del rendimento in funzione della temperatura media dell'acqua nel generatore, [%], in assenza di dati specifici è desumibile dal Prospetto 11.XII;

$\theta_{gn, test, I}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore nelle condizioni di prova a potenza intermedia [°C], desumibile dal Prospetto 11.XII;

$\theta_{gn, I}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore (o temperatura dell'acqua di ritorno per generatori a condensazione) nelle condizioni effettive di funzionamento a potenza intermedia, [°C].

La potenza intermedia dipende dal tipo di generatore. Per generatori a combustibile liquido o gassoso la potenza intermedia $\Phi_{gn,out,I}$ è data da $0,3 \cdot \Phi_{gn,out,N}$.

Il fattore di correzione del rendimento a carico intermedio, $f_{cor,I}$, può essere determinato direttamente dalla conoscenza dei valori di rendimento a carico intermedio alle temperature medie di prova e ad una temperatura di prova addizionale, tramite la relazione:

$$f_{cor,I} = \frac{\eta_{gn,I}(\theta_{gn,test,I}) - \eta_{gn,I}(\theta_{gn,test,I,add})}{\theta_{gn,test,I,add} - \theta_{gn,test,I}} \quad (11.99)$$

dove:

- $\eta_{gn,I}$ è il rendimento a potenza termica intermedia determinato alla temperatura di test, [%];
- $\eta_{gn,I,add}$ è il rendimento a potenza termica intermedia addizionale determinato alla temperatura addizionale dichiarata, [%];
- $\theta_{gn,test,I}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore nelle condizioni di prova a potenza nominale [°C], desumibile dal Prospetto 11.XII;
- $\theta_{gn,test,I,add}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore (o temperatura dell'acqua di ritorno per generatori a condensazione) a potenza intermedia nelle condizioni di prova addizionali, [°C].

In assenza di tali dati addizionali si usa il Prospetto 11.XII.

| Tipo di generatore | Temperatura media dell'acqua nel generatore nelle condizioni di prova a potenza intermedia $\theta_{gn,test,I}$ | Fattore di correzione $f_{cor,I}$ [%/°C] |
|---------------------------------------|---|--|
| Generatore standard | 50 °C | 0,05 |
| Generatore a bassa Temperatura | 40 °C | 0,05 |
| Generatore a condensazione * | 30 °C | 0,20 |
| Generatore a condensazione a gasolio* | 30 °C | 0,10 |

* Per i generatori a condensazione la prova non è effettuata con la media ma con la temperatura di ritorno pari a 30 °C. Il rendimento corrispondente a questo valore può essere applicato ad una temperatura media di 35 °C.

Prospetto 11.XII – Fattore di correzione del rendimento a carico intermedio $f_{cor,I}$
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

Le perdite termiche corrette a potenza termica intermedia $\Phi_{gn,ls,I,cor}$ sono date da:

$$\Phi_{gn,ls,I,cor} = \frac{100 - \eta_{gn,I,cor}}{\eta_{gn,I,cor}} \cdot \Phi_{gn,out,I} \quad (11.100)$$

dove:

- $\Phi_{gn,out,I}$ è la potenza termica utile intermedia del generatore, [W].

11.8.2.4 Perdite corrette a potenza nulla

Le perdite a carico nullo (perdite di stand-by), $\Phi_{gn,ls,S}$, possono essere dichiarate dal fabbricante qualora siano state determinate in accordo con le norme di prova applicabili (UNI EN 297, UNI EN 483, UNI EN 303, UNI EN 13836).

Qualora non siano specificate dal fabbricante, le perdite a carico nullo, si calcolano come segue:

$$\Phi_{gn,ls,S} = \Phi_{gn,out,N} \cdot \frac{E}{100} \cdot \left(\frac{\Phi_{gn,out,N}}{1000} \right)^F \quad (11.101)$$

dove:

$\Phi_{gn,out,N}$ è la potenza termica utile nominale del generatore, [W], col limite massimo di 400.000 W; se la potenza utile nominale è maggiore di 400.000 W, la perdita si determina utilizzando sempre tale limite;

E,F è sono i parametri riportati nel Prospetto 11.XIII.

| Tipo di generatore | Anno costruzione | E % | F | $\theta_{gn,test}$ °C |
|--|------------------|------|--------|-----------------------|
| Generatore a combustibile fossile solido | prima 1978 | 12,5 | - 0,28 | 70 |
| | 1978 a 1994 | 10,5 | - 0,28 | 70 |
| | dopo 1994 | 8,0 | - 0,28 | 70 |
| Generatori convenzionali | | | | |
| Generatori atmosferici a gas | prima 1978 | 8,0 | - 0,27 | 70 |
| | 1978 a 1994 | 7,0 | - 0,3 | 70 |
| | dopo 1994 | 8,5 | - 0,4 | 70 |
| Generatori con bruciatore a tiraggio forzato (olio/gas) | prima 1978 | 9,0 | - 0,28 | 70 |
| | 1978 a 1994 | 7,5 | - 0,31 | 70 |
| | dopo 1994 | 8,5 | - 0,4 | 70 |
| Generatori a bassa temperatura | | | | |
| Generatori atmosferici a gas | fino 1994 | 7,5 | - 0,30 | 70 |
| | dopo 1994 | 6,5 | - 0,35 | 70 |
| Generatori combinati KSp ^{a)} | dopo 1994 | 3,0 | 0,0 | 70 |
| Generatori combinati DL ^{b)} | dopo 1994 | 2,4 | 0,0 | 70 |
| Generatori con bruciatore a tiraggio forzato (olio/gas) | dopo 1994 | 8,0 | - 0,33 | 70 |
| | dopo 1994 | 5,0 | - 0,35 | 70 |
| Generatori a condensazione | | | | |
| Generatori a condensazione (olio/gas) | fino 1994 | 8,0 | - 0,33 | 70 |
| | dopo 1994 | 4,8 | - 0,35 | 70 |
| Generatori combinati KSp ^{a)} | dopo 1994 | 3,0 | 0,0 | 70 |
| Generatori combinati DL ^{b)} | dopo 1994 | 2,4 | 0,0 | 70 |
| a) KSp: Generatori combinati con produzione istantanea di acqua calda sanitaria tramite un piccolo accumulo (2 < V < 10 l). b) DL: Generatori combinati con produzione istantanea di acqua calda sanitaria tramite scambiatore di calore (V < 2 l). | | | | |

Prospetto 11.XIII – Parametri per la determinazione delle perdite a carico nullo
(Fonte adattato da UNI EN 15316-4-1:2008)

Le perdite termiche a carico nullo corrette in base alla temperatura del locale di installazione $\Phi_{gn,ls,S,cor}$ sono:

$$\Phi_{gn,ls,S,cor} = \Phi_{gn,ls,S} \cdot \left(\frac{\theta_{gn,av} - \theta_{a,gn}}{\theta_{gn,test} - \theta_{a,test}} \right)^{1,25} \quad (11.102)$$

dove:

$\Phi_{gn,ls,S,cor}$ è la potenza termica persa a carico nullo - con differenza di temperatura ($\theta_{gn,test} - \theta_{a,test}$), [W];

$\theta_{a,gn}$ è la temperatura interna del locale di installazione, [°C]; in mancanza di dati certi tale valore si può desumere dal Prospetto 11.XIV;

$\theta_{gn,av}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore, nelle condizioni effettive di utilizzo (o temperatura dell'acqua di ritorno per generatori a condensazione) [°C];

$\theta_{gn,test}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore nelle condizioni di prova [°C]; in mancanza di dati certi tale valore si può desumere dal Prospetto 11.XIII;

$\theta_{gn,test}$ è la temperatura dell'ambiente di prova pari a 20 °C.

| Ubicazione generatore | Fattore b_{gn} | $\theta_{a,gn}$ °C |
|--|------------------|---|
| All'aperto | 1 | Temperatura esterna media del periodo di calcolo (mese) |
| In centrale termica adiacente ad ambienti climatizzati | 0,3 | Temperatura dell'ambiente non climatizzato calcolata in funzione del $b_{tr,x}$ della zona non climatizzata |
| In centrale termica non adiacente ad ambienti climatizzati | 0,3 | Temperatura media mensile esterna + 5 °C |
| Entro lo spazio riscaldato | 0 | 20 |

Prospetto 11.XIV – Fattore di riduzione della temperatura b_{gn} e valori convenzionali della temperatura interna del locale dove è installato il generatore $\theta_{a,gn}$
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

11.8.2.5 Potenza media e perdite corrette alla potenza media

Se la potenza termica utile media giornaliera media mensile, $\Phi_{gn,out,av}$, determinata secondo la (11.51) o la (11.73) o la (11.59), è compresa fra zero e $\Phi_{gn,out,I}$, le perdite del generatore, $\Phi_{gn,ls,av}$, si calcolano come:

$$\Phi_{gn,ls,av} = \Phi_{gn,ls,S,cor} + \left(\Phi_{gn,ls,I,cor} - \Phi_{gn,ls,S,cor} \right) \cdot \frac{\Phi_{gn,out,av}}{\Phi_{gn,out,I}} \quad (11.103)$$

Se la potenza termica utile media giornaliera media mensile, $\Phi_{gn,out,av}$, è compresa fra $\Phi_{gn,out,I}$ e $\Phi_{gn,out,N}$, le perdite del generatore, $\Phi_{gn,ls,av}$, si calcolano come segue:

$$\Phi_{gn,ls,av} = \Phi_{gn,ls,I,cor} + \left(\Phi_{gn,ls,N,cor} - \Phi_{gn,ls,I,cor} \right) \cdot \frac{\Phi_{gn,out,av} - \Phi_{gn,out,I}}{\Phi_{gn,out,N} - \Phi_{gn,out,I}} \quad (11.104)$$

Le perdite totali di energia del generatore, $Q_{gn,ls}$, nel periodo di calcolo sono date da:

$$Q_{gn,ls} = \Phi_{gn,ls,av} \cdot \Delta t \quad (11.105)$$

dove:

Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

11.8.2.6 Energia elettrica assorbita dagli ausiliari

L'energia elettrica totale assorbita dagli ausiliari si calcola come:

$$W_{gn} = \dot{W}_{gn,aux,av} \cdot \Delta t \quad (11.106)$$

dove:

$\dot{W}_{gn,aux,av}$ è la potenza media giornaliera media mensile degli ausiliari del generatore, [W];

Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

La potenza elettrica assorbita degli ausiliari in corrispondenza delle condizioni medie di funzionamento,

$\dot{W}_{gn,aux,av}$ si calcola per interpolazione lineare tra i valori delle potenze degli ausiliari a pieno carico, a carico intermedio e a carico nullo.

Se la potenza termica utile media giornaliera media mensile, $\Phi_{gn,out,av}$, determinata secondo la (11.51) o la (11.73) o la (11.59), è compresa fra zero e $\Phi_{gn,out,I}$, $\dot{W}_{gn,aux,av}$ è dato da:

$$\dot{W}_{gn,aux,av} = \dot{W}_{gn,aux,S} + (\dot{W}_{gn,aux,I} - \dot{W}_{gn,aux,S}) \cdot \frac{\Phi_{gn,out,av}}{\Phi_{gn,out,I}} \quad (11.107)$$

se invece è compresa fra $\Phi_{gn,out,I}$ e $\Phi_{gn,out,N}$, $\dot{W}_{gn,aux,av}$ è dato da:

$$\dot{W}_{gn,aux,av} = \dot{W}_{gn,aux,I} + (\dot{W}_{gn,aux,N} - \dot{W}_{gn,aux,I}) \cdot \frac{\Phi_{gn,out,av} - \Phi_{gn,out,I}}{\Phi_{gn,out,N} - \Phi_{gn,out,I}} \quad (11.108)$$

I valori di $\dot{W}_{gn,aux}$ a carico nominale, a carico intermedio e a carico nullo sono forniti dal fabbricante.

In assenza di tali valori, ai fini del calcolo del rendimento di generazione, essi possono essere determinati come segue:

$$\dot{W}_{gn,aux} = G + H \cdot (\Phi_{gn,out,N})^n \quad (11.109)$$

dove:

$\dot{W}_{gn,aux}$ è la potenza degli ausiliari a potenza nominale, intermedia o nulla, [W];

$\Phi_{gn,out,N}$ è la potenza termica utile nominale del generatore, [W];

G, H, n sono i parametri riportati nel Prospetto 11.XV per potenza $\Phi_{gn,out,N}$, $\Phi_{gn,out,I}$, $\Phi_{gn,out,S}$.

| Tipologia | Potenza | G | H | n |
|------------------------------|-------------------|----|-------|---|
| Generatori standard | | | | |
| Generatori atmosferici a gas | $\Phi_{gn,out,N}$ | 40 | 0,148 | 1 |

| | | | | |
|---|-------------------|----|-------|------|
| | $\Phi_{gn,out,I}$ | 40 | 0,148 | 1 |
| | $\Phi_{gn,out,S}$ | 15 | 0 | 0 |
| Generatori con bruciatore ad aria soffiata a combustibili liquidi e gassosi | $\Phi_{gn,out,N}$ | 0 | 45 | 0,48 |
| | $\Phi_{gn,out,I}$ | 0 | 15 | 0,48 |
| | $\Phi_{gn,out,S}$ | 15 | 0 | 0 |
| Generatori a bassa temperatura | | | | |
| Generatori atmosferici a gas | $\Phi_{gn,out,N}$ | 40 | 0,148 | 1 |
| | $\Phi_{gn,out,I}$ | 40 | 0,148 | 1 |
| | $\Phi_{gn,out,S}$ | 15 | 0 | 0 |
| Generatori con bruciatore ad aria soffiata a combustibili liquidi e gassosi | $\Phi_{gn,out,N}$ | 0 | 45 | 0,48 |
| | $\Phi_{gn,out,I}$ | 0 | 15 | 0,48 |
| | $\Phi_{gn,out,S}$ | 15 | 0 | 0 |
| Generatori a condensazione | | | | |
| Generatori a condensazione a combustibili liquidi e gassosi | $\Phi_{gn,out,N}$ | 0 | 45 | 0,48 |
| | $\Phi_{gn,out,I}$ | 0 | 15 | 0,48 |
| | $\Phi_{gn,out,S}$ | 15 | 0 | 0 |

Prospetto 11.XV – Parametri per il calcolo della potenza degli ausiliari
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

NOTA:

La potenza elettrica dei generatori di calore comprende normalmente la potenza elettrica totale di tutti gli ausiliari montati a bordo del generatore. Sono ovviamente escluse eventuali pompe installate sul circuito primario di generazione esterne al generatore. Le potenze elettriche degli ausiliari, determinate, in assenza di dati specifici, secondo quanto indicato nel presente dispositivo, si riferiscono a tutti gli ausiliari normalmente a bordo del generatore. In alcuni casi le potenze così determinate possono risultare maggiori di quelle effettive.

11.8.2.7 Energia termica recuperabile

L'energia termica recuperabile è:

- 1- energia recuperabile dall'energia degli ausiliari elettrici;
- 2- energia termica recuperabile dalle perdite dell'involucro.

11.8.2.7.1 Energia termica recuperabile dall'energia ausiliaria elettrica

I valori di rendimento dichiarati in base alla Direttiva 92/42/CEE tengono già conto del recupero di energia elettrica ceduta al fluido termovettore.

Ai fini del calcolo dell'energia termica recuperabile si considera la quota di energia termica trasmessa all'acqua dell'impianto pari a 0,75 del totale. La quota di energia termica ceduta in ambiente dagli ausiliari elettrici si assume quindi pari a 0,25 del totale.

Si considerano perciò solo i recuperi verso l'ambiente di installazione. L'energia ausiliaria recuperata $Q_{gn,aux,ri}$ è data da:

$$Q_{gn,aux,ri,rb} = W_{gn,aux} \cdot (1 - 0,75) \cdot (1 - b_{gn}) = W_{gn,aux} \cdot 0,25 \cdot (1 - b_{gn}) \quad (11.110)$$

dove:

b_{gn} è il fattore di riduzione della temperatura in base all'ubicazione del generatore, [-]; desumibile dal Prospetto 11.XIV.

11.8.2.7.2 Energia termica recuperabile dall'involucro del generatore

Si considerano recuperabili solo le perdite all'involucro del generatore $Q_{gn,env,ri}$. Esse vengono espresse come frazione delle perdite totali a carico nullo e si calcolano con:

$$Q_{gn,env,ri} = (1 - b_{gn}) \cdot p_{gn,env} \cdot \Phi_{gn,js,cor} \cdot \Delta t \quad (11.111)$$

dove:

$p_{gn,env}$ è la frazione delle perdite a carico nullo - attribuita a perdite all'involucro del generatore, [-]; in assenza di dati dichiarati dal fabbricante, si assumono i valori riportati nel Prospetto 11.XVI.

| Tipo di bruciatore | $p_{gn,env}$ |
|-----------------------------|--------------|
| Bruciatore atmosferico | 0,50 |
| Bruciatore ad aria soffiata | 0,75 |

Prospetto 11.XVI – - Frazione delle perdite a carico nullo attribuite al mantello - in funzione del tipo di bruciatore (Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

11.8.2.8 Energia termica recuperata complessiva

Le perdite recuperabili totali $Q_{gn,js,rbl}$ si calcolano con:

$$Q_{gn,js,rbl} = Q_{gn,aux,js,rbl} + Q_{gn,env,js,rbl} \quad (11.112)$$

Le perdite recuperabili si considerano tutte recuperate e devono essere portate in deduzione alle perdite totali:

$$Q_{gn,js,rh} \equiv Q_{gn,js,rbl} \quad (11.113)$$

11.8.2.9 Fabbisogno di energia per la combustione

Il fabbisogno di energia per la combustione si calcola con:

$$Q_{gn,in} = Q_{gn,out} + Q_{gn,js} - Q_{gn,js,rh} \quad (11.114)$$

11.8.3 Generatori di acqua calda a combustione con fiamma utilizzanti combustibili fossili (modello dettagliato)

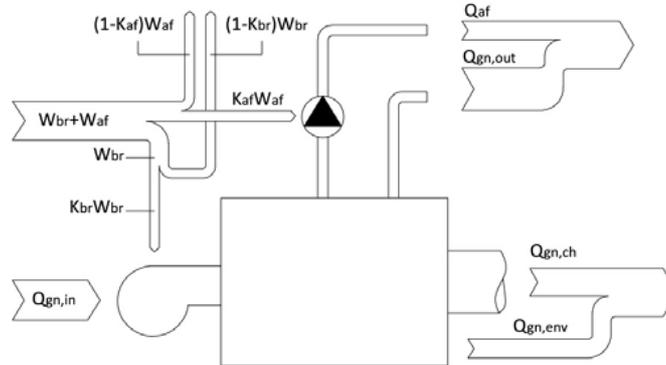


Figura 11.7 - Bilancio energetico di un generatore tradizionale

Con riferimento allo schema riportato in Figura 11., la perdita energetica totale del sottosistema di generazione, $Q_{gn,L}$, è data da:

$$Q_{gn,L} = Q_{gn,env} + Q_{gn,ch} + (1 - k_{br}) \cdot W_{br} + (1 - k_{af}) \cdot W_{af} \quad (11.115)$$

dove:

- $Q_{gn,L}$ è la perdita termica totale del sottosistema di generazione, [kWh];
- $Q_{gn,env}$ è la perdita termica del generatore al mantello, [kWh];
- $Q_{gn,ch}$ è la perdita termica del generatore al camino, [kWh];
- k_{br} è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dal bruciatore;
- W_{br} è l'energia elettrica complessivamente assorbita dai bruciatori, [kWh];
- k_{af} è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dalla pompa;
- W_{af} è l'energia elettrica complessivamente assorbita dalle pompe, [kWh].

11.8.3.1 Fabbisogno di energia elettrica ausiliari

Il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di generazione è dato dalla somma dell'energia elettrica assorbita dal bruciatore e dell'energia elettrica assorbita dalla pompa, secondo la relazione:

$$W_{gn} = W_{br} + W_{af} \quad (11.116)$$

dove:

- W_{gn} è l'energia elettrica complessivamente assorbita dal generatore di calore, [kWh];
- W_{br} è l'energia elettrica assorbita dal/dai bruciatori, [kWh];
- W_{af} è l'energia elettrica assorbita dalla/e pompe, [kWh].

L'energia elettrica assorbita dal/dai bruciatori del sottosistema di generazione, W_{br} , si calcola come:

$$W_{br} = FC_f \cdot t_{gn} \cdot N \cdot \sum_i \dot{W}_{br,i} \quad (11.117)$$

dove:

W_{br} è l'energia elettrica complessivamente assorbita dai bruciatori, [kWh];

FC_f è il fattore di carico al focolare del generatore (campo di validità 0-1);

t_{gn} è il tempo totale di funzionamento del generatore (tempo di attivazione), assunto pari a 24 h/giorno;

N è il numero dei giorni del mese considerato;

$\dot{W}_{br,i}$ è la potenza nominale del bruciatore i-esimo del sottosistema di generazione, [kW].

L'energia elettrica assorbita dalla/e pompe del sottosistema di generazione, W_{af} , si calcola, per le pompe anticondensa e le pompe interne alla macchina il cui funzionamento è asservito al generatore, come:

$$W_{af} = FC_f \cdot t_{gn} \cdot N \cdot \sum_{i=1}^n \dot{W}_{af,i} \quad (11.118)$$

dove:

W_{af} è l'energia elettrica complessivamente assorbita dalle pompe, [kWh];

FC_f è il fattore di carico al focolare del generatore (campo di validità 0-1);

t_{gn} è il tempo totale di funzionamento del generatore (tempo di attivazione), assunto pari a 24 h/giorno;

N è il numero dei giorni del mese considerato;

$\dot{W}_{af,i}$ è la potenza nominale della pompa i-esima del sottosistema di generazione, [kW].

La potenza elettrica nominale del generico ausiliare, se non altrimenti nota e solo per la certificazione energetica, può essere calcolata, in Watt, come:

$$\dot{W}_x = c_1 + c_2 \cdot \left(\frac{\Phi_{cn}}{1000} \right)^n \quad (11.119)$$

dove:

Φ_{cn} è la potenza termica nominale al focolare del generatore, [W];

c_1 , c_2 e n sono parametri riportati nel Prospetto 11.XVII.

| X | Tipo di apparecchio | c_1 | c_2 | n |
|---|--|-------|-------|------|
| br | Generatore con bruciatore atmosferico | 40 | 0,148 | 1 |
| br | Generatore con bruciatore ad aria soffiata | 0 | 45 | 0,48 |
| af | Generatori con pompa primaria ¹⁾ (indipendentemente dal tipo di bruciatore) | 100 | 2 | 1 |
| 1) Qualora il generatore non sia dotato di pompa di circolazione primaria si considerino $W_{af} = 0$ | | | | |

Prospetto 11.XVII – Parametri per il calcolo della potenza degli ausiliari
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

11.8.3.2 Energia elettrica recuperata

L'energia elettrica recuperata dagli ausiliari del sottosistema di generazione, $Q_{gn,Aux,rvd}$, è complessivamente data da:

$$Q_{gn,Aux,rvd} = k_{gn} \cdot W_{gn} = k_{br} \cdot W_{br} + k_{af} \cdot W_{af} = Q_{br} + Q_{af} \quad (11.120)$$

dove:

$Q_{gn,Aux,rvd}$ è la quota recuperata dell'energia elettrica degli ausiliari in termini di incremento dell'energia termica in uscita al sottosistema di generazione, [kWh];

k_{gn} è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dal generatore;

W_{gn} è l'energia elettrica complessivamente assorbita dal generatore di calore, [kWh];

k_{br} è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dai bruciatori;

W_{br} è l'energia elettrica complessivamente assorbita dai bruciatori, [kWh];

k_{af} è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dalla pompa;

W_{af} è l'energia elettrica complessivamente assorbita dalle pompe, [kWh];

Q_{br} è l'energia termica recuperata a valle del bruciatore (a monte del focolare) nell'aria comburente e/o nel combustibile, [kWh];

Q_{af} è l'energia termica recuperata a valle del focolare nel fluido termovettore, [kWh].

La frazione recuperata dell'energia elettrica del/dei bruciatori del sottosistema di generazione, k_{br} , si calcola come:

$$k_{br} = \frac{\sum_i (\eta_{br} \cdot \dot{W}_{br,i})}{\sum_i \dot{W}_{br,i}} \quad (11.121)$$

dove:

$\dot{W}_{br,i}$ è la potenza nominale del bruciatore i-esimo del sottosistema di generazione, [kW];

$\eta_{br,i}$ è il rendimento meccanico nominale del bruciatore i-esimo.

Per il rendimento meccanico del bruciatore i-esimo, e dunque per la frazione recuperata dell'energia elettrica, k_{br} , si assume il valore di 0,8.

La frazione recuperata dell'energia elettrica della/e pompe del sottosistema di generazione, k_{af} , si calcola come:

$$k_{af} = \frac{\sum_i (\eta_{af} \cdot \dot{W}_{af,i})}{\sum_i \dot{W}_{af,i}} \quad (11.122)$$

dove:

$\dot{W}_{af,i}$ è la potenza nominale della pompa i-esima del sottosistema di generazione, [kW];

$\eta_{af,i}$ è il rendimento meccanico nominale della pompa i-esima.

Per il rendimento meccanico della pompa i-esima, e dunque per la frazione recuperata dell'energia elettrica k_{af} , si assume il valore di 0,80.

11.8.3.3 Energia termica richiesta al generatore

L'energia termica richiesta al generatore si calcola come:

$$Q_{gn,out} = Q_{H,g,out} - Q_{af} \quad (11.123)$$

con:

$$Q_{af} = k_{af} \cdot W_{af} \quad (11.124)$$

11.8.3.4 Perdite termiche del generatore monostadio

Le perdite termiche del generatore si calcolano come:

$$Q_{gn,ch} = \frac{P_{ch,on}}{100} \cdot t_{on} \cdot N \cdot \Phi_{cn} + \frac{P_{ch,off}}{100} \cdot t_{off} \cdot N \cdot \Phi_{cn} \quad (11.125)$$

$$Q_{gn,env} = \frac{P_{gn,env}}{100} \cdot t_{gn} \cdot N \cdot \Phi_{cn} \quad (11.126)$$

con:

$$t_{gn} = t_{on} + t_{off} \quad (11.127)$$

$$t_{on} = FC_f \cdot t_{gn} \quad (11.128)$$

dove:

$Q_{gn,ch}$ è la perdita termica totale al camino del generatore, [kWh];

$Q_{gn,env}$ è la perdita termica al mantello del generatore, [kWh];

$P_{ch,on}$ è la perdita termica percentuale al camino a bruciatore acceso, [%];

$P_{ch,off}$ è la perdita termica percentuale al camino a bruciatore spento, [%];

$P_{gn,env}$ è la perdita termica percentuale al mantello del generatore, [%];

t_{gn} è il tempo totale di funzionamento del generatore (tempo di attivazione), assunto pari a 24 h/giorno;

t_{on} è il tempo di funzionamento giornaliero con fiamma del bruciatore accesa, [h/giorno];

t_{off} è il tempo di funzionamento giornaliero con fiamma del bruciatore spenta, [h/giorno];

Φ_{cn} è la potenza termica nominale al focolare del generatore, [kW];

FC_f è il fattore di carico al focolare del generatore (campo di validità 0-1);

N è il numero dei giorni del mese considerato.

Il fattore di carico al focolare del generatore è definito come:

$$FC_f = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{Q_{gn,in}}{\Phi_{cn} \cdot t_{gn} \cdot N} \quad (11.129)$$

dove:

$Q_{gn,in}$ è l'energia del combustibile in ingresso al generatore, [kWh], che è quindi calcolabile in funzione di FC come:

$$Q_{gn,in} = FC_f \cdot \Phi_{cn} \cdot t_{gn} \cdot N \quad (11.130)$$

Il fattore di carico al focolare si calcola poi secondo la:

$$FC_f = \frac{\frac{100 \cdot Q_{gn,out}}{\Phi_{ref} \cdot t_{gn} \cdot N} + P_{ch,off} + P_{gn,env}}{100 \cdot \frac{\Phi_{cn} + k_{br} \cdot \dot{W}_{br}}{\Phi_{ref}} - \frac{\Phi_{cn}}{\Phi_{ref}} \cdot P_{ch,on} + P_{ch,off}} \quad (11.131)$$

dove la potenza di riferimento, Φ_{ref} , si assume pari alla potenza termica nominale al focolare, Φ_{cn} , per cui la (11.131) diventa:

$$FC_f = \frac{\frac{100 \cdot Q_{gn,out}}{\Phi_{cn} \cdot t_{gn} \cdot N} + P_{ch,off} + P_{gn,env}}{100 \cdot \frac{\Phi_{cn} + k_{br} \cdot \dot{W}_{br}}{\Phi_{cn}} - P_{ch,on} + P_{ch,off}} \quad (11.132)$$

Le perdite percentuali del generatore, che devono assumere valori sempre positivi, si determinano in funzione delle perdite percentuali nominali e del fattore di carico FC, secondo le seguenti relazioni:

$$P_{ch,on} = [P'_{ch,on} + 0,045(\theta_{gn,av} - \theta_{gn,test})] \cdot FC_f^n \quad (11.133)$$

$$P_{ch,off} = P'_{ch,off} \cdot \frac{(\theta_{gn,av} - \theta_{a,gn})}{(\theta_{gn,test} - \theta_{a,test})} \cdot FC_f^p \quad (11.134)$$

$$P_{gn,env} = P'_{gn,env} \cdot k_{gn,env} \cdot \frac{\theta_{gn,av} - \theta_{a,gn}}{\theta_{gn,test} - \theta_{a,test}} \cdot FC_f^m \quad (11.135)$$

dove:

$P'_{ch,on}$ è la perdita termica percentuale nominale al camino a bruciatore acceso, [%];

$P'_{ch,off}$ è la perdita termica percentuale nominale al camino a bruciatore spento, [%];

$P'_{gn,env}$ è la perdita termica percentuale nominale al mantello del generatore, [%];

$\theta_{gn,av}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore (media aritmetica di mandata e ritorno) in condizioni di funzionamento reali, [°C];

$\theta_{a,gn}$ è la temperatura media mensile dell'ambiente ospitante il generatore dato dalla (11.136), [°C];

$\theta_{gn,test}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore in condizioni di test, pari a 70°C;

$\theta_{a,test}$ è la temperatura dell'ambiente nelle condizioni di test, pari a 20°C;

- $k_{gn,env}$ è il fattore di riduzione delle perdite al mantello del generatore (Prospetto 11.XXI);
 FC_f è il fattore di carico al focolare del generatore (campo di validità 0-1);
 n è l'esponente definito al Prospetto ;
 p è l'esponente definito al Prospetto ;
 m è l'esponente definito al Prospetto .

Il valore del fattore di carico FC si determina tramite iterazioni successive seguendo la procedura descritta di seguito:

1. porre al primo passo il valore del fattore di carico pari a 1;
2. determinare il valore: $P_{ch,on}$, $P_{ch,off}$, $P_{gn,env}$ e $Q_{gn,out}$;
3. calcolare nuovamente FC tramite la (11.131);
4. ripetere il calcolo finché FC_f converge (variazione di FC_f inferiore a 0,01).

| Tipo di perdita | | Impianto nuovo | Impianto esistente |
|-----------------|---|---|--|
| $P'_{ch,on}$ | Perdite termiche percentuali nominali al camino con bruciatore funzionante. | Dati dichiarati dal costruttore. In mancanza di tali dati, valore ricavabile in fase di collaudo dell'impianto mediante "prova fumi"; qualora anche tale dato non sia disponibile si fa riferimento a quelli riportati nel Prospetto 11.XXIV. | Dati dichiarati dal costruttore. In mancanza di tali dati, valore ricavabile dalla "prova fumi". Se tale valore, riportato sul libretto di centrale, risale a più di ventiquattro mesi prima dalla richiesta di certificazione energetica dell'edificio, è previsto l'obbligo di una nuova "prova fumi". Solo in caso di mancanza di allacciamento alla rete del gas naturale è possibile fare riferimento al Prospetto 11.XXIV. |
| $P'_{gn,env}$ | Perdite percentuali verso l'ambiente attraverso il mantello. | Dati dichiarati dal costruttore. In mancanza di tali dati, valori riportati nel Prospetto 11.XIX. | Dati dichiarati dal costruttore. In mancanza di tali dati, valori riportati nel Prospetto 11.XIX. |
| $P'_{ch,off}$ | Perdite percentuali al camino con bruciatore spento. | Dati dichiarati dal costruttore. In mancanza di tali dati, valori riportati nel Prospetto 11.XX. | Dati dichiarati dal costruttore. In mancanza di tali dati, valori riportati nel Prospetto 11.XX |

Prospetto 11.XVIII – Metodologia da seguire per la quantificazione delle perdite termiche

Le perdite nominali verso l'ambiente attraverso il mantello del generatore, $P'_{gn,env}$, in mancanza di dati dichiarati dal costruttore, vengono quantificate attraverso i dati riportati nel Prospetto 11.XIX dove Φ_{cn} è la potenza nominale del focolare espressa in kW e log è il logaritmo in base 10.

| Tipo di isolamento del mantello del generatore | Età del generatore | $P'_{gn,env}$ [%] |
|--|------------------------------------|----------------------------|
| Generatore nuovo ad alto rendimento, ben isolato | Nuova installazione | 1,72-0,44 $\log\Phi_{cn}$ |
| Generatore ben isolato e mantenuto | Fino a 5 anni ben isolato | 3,45-0,88 $\log\Phi_{cn}$ |
| Generatore obsoleto e mediamente isolato | Da 6 a 11 anni mediamente isolato | 6,90-1,76 $\log\Phi_{cn}$ |
| Generatore obsoleto e privo di isolamento | Da 6 a 11 anni privo di isolamento | 8,36-2,20 $\log\Phi_{cn}$ |
| Generatore non isolato | Superiore ai 12 anni | 10,35-2,64 $\log\Phi_{cn}$ |

Prospetto 11.XIX – Valori delle perdite di calore attraverso il mantello, $P'_{gn,env}$
(Fonte UNI TS 11300-2:2014)

Le perdite percentuali nominali al camino a bruciatore spento, $P'_{ch,off}$, in mancanza di dati dichiarati dal costruttore, vengono quantificate attraverso i valori riportati nel Prospetto 11.XX.

| Tipo di generatore | $P'_{ch,off}$ [%] |
|--|-------------------|
| Bruciatori ad aria soffiata a combustibile liquido e gassoso con chiusura dell'aria comburente all'arresto | 0,2 |
| Bruciatori soffiati a combustibile liquido e gassoso a premiscelazione totale | 0,2 |
| Generatori con scarico a parete | 0,2 |
| Bruciatori ad aria soffiata a combustibile liquido e gassoso senza chiusura dell'aria comburente all'arresto | |
| ▪ con camino di altezza fino a 10 m | 1,0 |
| ▪ con camino di altezza maggiore di 10 m | 1,2 |
| Bruciatori atmosferici a gas | |
| ▪ con camino di altezza fino a 10 m | 1,2 |
| ▪ con camino di altezza maggiore di 10 m | 1,6 |

Prospetto 11.XX – Valori delle perdite al camino a bruciatore spento, $P'_{ch,off}$
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

Il fattore di riduzione delle perdite al mantello del generatore, $k_{gn,env}$, è ricavabile dal Prospetto 11.XXI in relazione all'ubicazione del generatore.

| Tipo ed ubicazione del generatore | $k_{gn,env}$ |
|--|--------------|
| Generatore installato entro lo spazio riscaldato | 0,1 |
| Generatore di tipo B installato entro lo spazio riscaldato | 0,2 |
| Generatore installato in centrale termica | 0,7 |
| Generatore installato all'esterno | 1,0 |

Prospetto 11.XXI – Valori del fattore di riduzione delle perdite al mantello del generatore, $k_{gn,env}$
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

Il valore dell'esponente da utilizzare nel calcolo delle perdite percentuali del generatore è ricavabile dal Prospetto in relazione alla tipologia di generatore e del parametro caratteristico M_{gn} definito come rapporto fra la massa complessiva del generatore (metallo + refrattari + isolanti) e la sua potenza nominale al focolare.

| Tipo di generatore | M_{gn} kg/kW | n | m | p |
|---|-------------------|------|---|---|
| Circolazione permanente di acqua in caldaia: | | | | |
| Generatore a parete, generatore in alluminio | <1 | 0,05 | 0 | 0 |
| Generatore di acciaio | 1÷3 | 0,10 | 0 | 0 |
| Generatore in ghisa | >3 | 0,15 | 0 | 0 |
| Interruzione della circolazione in caldaia a temperatura ambiente raggiunta. La pompa primaria si ferma alcuni minuti dopo il | | | | |

| | | | | |
|---|-----|------|------|------|
| bruciatore ed entrambi vengono fermati dal termostato ambiente: | | | | |
| Generatore a parete, generatore in alluminio | <1 | 0,05 | 0,15 | 0,15 |
| Generatore di acciaio | 1÷3 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| Generatore in ghisa | >3 | 0,15 | 0,05 | 0,05 |

Prospetto 11.XXII – Valori di riferimento degli esponenti n, m, p
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

La temperatura media mensile dell’ambiente ospitante il generatore, $\theta_{a,gn}$, è determinata secondo la:

$$\theta_{a,gn} = \theta_i - F_T \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (11.136)$$

dove:

- $\theta_{a,gn}$ è la temperatura media mensile dell’ambiente ospitante il generatore, si veda la (11.136), [°C];
- F_T è il fattore correttivo da applicare così da tener conto delle diverse condizioni di temperatura degli ambienti non climatizzati (Prospetto 11.XXIII **Prospetto**);
- θ_i è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, (si veda § 1.4), [°C];
- θ_e è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna, (si veda il § 3.3.5.1), [°C].

| Tipo ed ubicazione del generatore | F_T |
|---|-------|
| Generatore in centrale termica | 0,6 |
| Generatore all’esterno | 1,0 |
| Generatore all’interno di ambiente climatizzato | 0 |

Prospetto 11.XXIII – Valori del fattore di correzione F_T da applicare
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

| Tipologia del generatore | $\theta_{gn,test}$ [°C] | $P'_{ch,on}$ [%] |
|---|-------------------------|------------------|
| Generatore atmosferico tipo B | 70 | 12 |
| Generatore di tipo C (tiraggio forzato) | 70 | 10 |
| Caldaia a gas con bruciatore ad aria soffiata | 70 | 10 |
| Caldaia a gasolio/biodiesel con bruciatore ad aria soffiata | 70 | 10 |

Prospetto 11.XXIV – Valori delle perdite termiche percentuali nominali al camino con bruciatore funzionante, $P'_{ch,on}$, cui fare riferimento in assenza della prova fumi o in assenza di allacciamento alla rete del gas
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

11.8.3.5 Generatori multistadio o modulanti

Un generatore multistadio o modulante è caratterizzato da tre stati tipici di funzionamento:

- bruciatore spento;
- bruciatore acceso alla minima potenza;
- bruciatore acceso alla massima potenza.

Il metodo di calcolo ipotizza due sole possibili condizioni di utilizzo:

- funzionamento del generatore ad intermittenza alla minima potenza;

- funzionamento del generatore con continuità ad una potenza compresa fra il minimo e il massimo.
Rispetto ad un generatore tradizionale, per caratterizzare un generatore multistadio o modulante devono essere considerati i seguenti dati aggiuntivi:

- $\Phi_{cn,min}$ è la potenza minima al focolare di funzionamento continuo a fiamma accesa; è un dato fornito dal costruttore e solo in assenza di tale valore è possibile ricorrere a quelli riportati al Prospetto , [kW];
- $P'_{ch,on,min}$ è il fattore di perdita $P_{ch,on}$ alla potenza minima al focolare $\Phi_{cn,min}$; in assenza di valori dichiarati dal costruttore si possono utilizzare i dati riportati nel Prospetto , [kW];
- $\dot{W}_{br,min}$ è la potenza degli ausiliari elettrici alla potenza minima al focolare $\Phi_{cn,min}$; in mancanza di dati forniti dal costruttore è possibile riferirsi a quelli riportati al Prospetto , [kW].

| Descrizione | $\Phi_{cn,min}$ [kW] |
|------------------------------------|-------------------------|
| Bruciatore di gas | $0,3 \Phi_{cn,max}$ |
| Bruciatore di combustibile liquido | $0,5 \Phi_{cn,max}$ |

Prospetto 11.XXV – Dati di riferimento per $\Phi_{cn,min}$
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

| Descrizione | $\theta'_{gn,test}$ | $P'_{ch,on,min}$ [%] |
|---|---------------------|-------------------------|
| Generatore atmosferico tipo B | 70 | 15 |
| Generatore di tipo C (tiraggio forzato) | 70 | 12 |
| Caldaia a gas con bruciatore ad aria soffiata | 70 | 8 |
| Caldaia a condensazione | 50 ¹⁾ | 5 |
| Caldaia a gasolio/biodiesel con bruciatore ad aria soffiata | 70 | 10 |
| 1) Temperatura di ritorno | | |

Prospetto 11.XXVI – Valori di default di $\theta'_{gn,test}$ e $P'_{ch,on,min}$ per generatori multistadio o modulanti
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

| Descrizione | $\dot{W}_{br,min}$ [kW] |
|---|--|
| Ventilatore aria comburente ed ausiliari bruciatore (gas) | $\dot{W}_{br,min} = \Phi_{cn,min} \cdot 0,002$ |
| Ventilatore aria comburente ed ausiliari bruciatore (gasolio) | $\dot{W}_{br,min} = \Phi_{cn,min} \cdot 0,003$ |

| | |
|---|--|
| Ventilatore aria comburente ed ausiliari bruciatore (olio combustibile) - senza riscaldatore - con riscaldatore | $\dot{W}_{br,min} = \Phi_{cn,min} \cdot 0,004$ $\dot{W}_{br,min} = \Phi_{cn,min} \cdot 0,02$ |
|---|--|

Prospetto 11.XXVII – Valori di default delle potenze degli ausiliari alla potenza minima del focolare per generatori multistadio o modulanti (Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

I valori nominali considerati nel calcolo sono quelli alla potenza massima indicati come:

$\Phi_{cn,max} = \Phi_{cn}$ è la potenza massima al focolare, [kW];

$P'_{ch,on,max} = P'_{ch,on}$ è il fattore di perdita al camino con bruciatore acceso alla potenza massima al focolare, [%].

Il calcolo viene effettuato in maniera analoga ai generatori monostadio utilizzando:

- $\Phi_{cn,min}$ al posto di Φ_{cn} ;
- $P'_{ch,on,min}$ al posto di $P'_{ch,on}$;
- $\dot{W}_{br,min}$ al posto di \dot{W}_{br} .

Il fattore di carico viene determinato quindi, analogamente a quanto fatto per i generatori monostadio, con la seguente espressione, dove la potenza di riferimento, Φ_{ref} , per la determinazione delle perdite nominali al mantello $P'_{gn,ev}$, e al camino a bruciatore spento, $P'_{ch,off}$, è presa pari a quella nominale e quindi a $\Phi_{cn,max}$:

$$FC_f = \frac{\frac{100 \cdot Q_{gn,out}}{\Phi_{cn,max} \cdot t_{gn} \cdot N} + P_{ch,off} + P_{gn,env}}{100 \cdot \frac{\Phi_{cn,min} + K_{br} \cdot \dot{W}_{br,min}}{\Phi_{cn,max}} - \frac{\Phi_{cn,min}}{\Phi_{cn,max}} \cdot P_{ch,on,min} + P_{ch,off}} \quad (11.137)$$

dove:

$$P_{ch,on,min} = [P'_{ch,on,min} + 0,045 (\theta_{gn,av} - \theta_{gn,test})] \cdot FC_f^n \quad (11.138)$$

$$P_{ch,off} = P'_{ch,off} \cdot \frac{(\theta_{gn,av} - \theta_{a,gn})}{(\theta_{gn,test} - \theta_{a,test})} \cdot FC_f^p \quad (11.139)$$

$$P_{gn,env} = P'_{gn,env} \cdot k_{gn,env} \cdot \frac{\theta_{gn,av} - \theta_{a,gn}}{\theta_{gn,test} - \theta_{a,test}} \cdot FC_f^m \quad (11.140)$$

Se FC converge ad un valore minore a 1, si procede fino al termine della procedura prevista per i generatori monostadio.

Il fabbisogno di combustibile, $Q_{gn,in}$, si calcola con:

$$Q_{gn,in} = \Phi_{cn,min} \cdot t_{gn} \cdot FC_f \cdot N \quad (11.141)$$

L'energia elettrica assorbita dagli ausiliari è data da:

$$W_{gn} = W_{br} + W_{af} = (\dot{W}_{af} + \dot{W}_{br}) \cdot FC_f \cdot t_{gn} \cdot N \quad (11.142)$$

L'energia elettrica complessivamente recuperata è data da:

$$Q_{gn,Aux,rvd} = Q_{br} + Q_{af} = k_{br} \cdot W_{br} + k_{af} \cdot W_{af} \quad (11.143)$$

Le perdite totali sono date da:

$$Q_{gn,L} = Q_{gn,in} - Q_{H,g,out} + k_{br} \cdot W_{br} + k_{af} \cdot W_{af} \quad (11.144)$$

Se FC converge ad un valore maggiore o uguale a 1, si calcola la potenza media al focolare Φ_{avg} con la seguente procedura:

1. Determinare la quantità di calore che il generatore deve fornire $Q_{gn,out}$ (in assenza di accumulo esso è uguale alla somma dei fabbisogni di calore dei sottosistemi di distribuzione alimentati).
2. Calcolare $P_{gn,env}$ con la formula (11.135) assumendo $FC=1$.
3. Calcolare $P_{ch,on,min}$ e $P_{ch,on,max}$ con la formula (11.133) assumendo $FC=1$.
4. Calcolare Q_{af} con la formula (11.124).
5. Porre $\Phi_{cn,avg} = \Phi_{cn,min}$.
6. Calcolare $P_{ch,on,avg}$ con:

$$P_{ch,on,avg} = P_{ch,on,min} + (P_{ch,on,max} - P_{ch,on,min}) \cdot \frac{\Phi_{cn,avg} - \Phi_{cn,min}}{\Phi_{cn} - \Phi_{cn,min}} \quad (11.145)$$

7. Calcolare $\dot{W}_{br,avg}$ con:

$$\dot{W}_{br,avg} = \dot{W}_{br,min} + (\dot{W}_{br,max} - \dot{W}_{br,min}) \cdot \frac{\Phi_{cn,avg} - \Phi_{cn,min}}{\Phi_{cn} - \Phi_{cn,min}} \quad (11.146)$$

dove:

- $\dot{W}_{br,max}$ è la potenza elettrica assorbita dal bruciatore in condizioni nominali, alla potenza massima del focolare, [kW];
- $\dot{W}_{br,min}$ è la potenza elettrica assorbita dal bruciatore alla potenza minima al focolare, in assenza di dati è possibile fare riferimento al Prospetto 11.XXVII, [kW].

8. Calcolare una nuova $\Phi_{cn,avg}$:

$$\Phi_{cn,avg} = \frac{\frac{Q_{gn,out}}{t_{gn} \cdot N} + \frac{P_{gn,env}}{100} \cdot \Phi_{cn} - k_{br} \cdot \dot{W}_{br,avg}}{1 - \frac{P_{ch,on,avg}}{100}} \quad (11.147)$$

9. Ripetere i passi 6 e 7 e 8 fino a quando $\Phi_{cn,avg}$ converge.
10. Calcolare il fabbisogno di combustibile con:

$$Q_{gn,in} = \Phi_{cn,avg} \cdot t_{gn} \cdot N \quad (11.148)$$

11. Calcolare l'energia ausiliaria totale con:

$$W_{gn} = W_{br,avg} + W_{af} = (\dot{W}_{br,avg} + \dot{W}_{af}) \cdot t_{gn} \cdot N \quad (11.149)$$

12. Calcolare l'energia ausiliaria recuperata con:

$$Q_{gn,Auxrvd} = Q_{br,avg} + Q_{af} = k_{br} \cdot W_{br,avg} + k_{af} \cdot W_{af} \quad (11.150)$$

13. Calcolare le perdite totali con:

$$Q_{gn,L} = Q_{gn,in} - Q_{H,g,out} + k_{br} \cdot W_{br,avg} + k_{af} \cdot W_{af} \quad (11.151)$$

11.8.3.6 Generatori a condensazione

Se il generatore opera a condensazione (è cioè un generatore a condensazione e le temperature di esercizio dell'impianto sono tali da consentire la condensazione del vapore d'acqua contenuto nei fumi), le perdite di tale generatore devono essere calcolate considerando una perdita termica percentuale al camino a bruciatore acceso modificata, cioè:

$$P_{ch,on}^* = P_{ch,on} - R = \left[P'_{ch,on} + 0,045 (\theta_{gn,av} - \theta_{gn,test}) \right] \cdot FC_f - R \quad (11.152)$$

dove:

$P_{ch,on}^*$ è la perdita termica percentuale al camino a bruciatore acceso in condizioni di funzionamento a condensazione, [%];

$P_{ch,on}$ è la perdita termica percentuale al camino a bruciatore acceso, [%];

R è il fattore di recupero di condensazione, espresso come percentuale di Φ_{cn} e dato dalla (11.157), [%];

$P'_{ch,on}$ è la perdita termica percentuale nominale al camino a bruciatore acceso, [%];

$\theta_{gn,av}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore (media aritmetica di mandata e ritorno) in condizioni di funzionamento reali, [°C];

$\theta_{gn,test}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore in condizioni di test, pari a 70°C.

Determinazione semplificata di R

Il fattore di recupero di condensazione, in condizioni nominali, può essere determinato dalla conoscenza del rendimento termico utile del generatore nelle condizioni di funzionamento a condensazione, indicate dall'apice (C), e dalle perdite percentuali nominali, come:

$$R_N = \eta_{tu}^{(C)} + P_{ch,on}^{(D)} + P_{gn,env}^{(C)} - 100 \quad (11.153)$$

dove:

R_N è il fattore di recupero di condensazione nominale, [%];

$\eta_{tu}^{(C)}$ è il rendimento termico utile del generatore nelle condizioni nominali di funzionamento a condensazione (C) con potenza al focolare Φ_{cn} , [%];

$P_{ch,on}^{(D)}$ indica le perdite percentuali al camino a bruciatore acceso nell'ipotesi di fumi secchi ma nelle condizioni nominali di funzionamento a condensazione (C), [%];

$P_{gn,env}^{(C)}$ indica la perdita termica percentuale al mantello, ricalcolata alla temperatura di test in condizioni di condensazione a partire dal valore nominale riferito alla temperatura $\theta_{gn,test} = 70^\circ\text{C}$, [%].

Le perdite percentuali alla temperatura di condensazione, se non dichiarate dal costruttore, si possono ricavare dalle seguenti correlazioni:

$$P_{ch,on}^{(D)} \approx P'_{ch,on} + 0,045 \cdot (\theta_{gn,test}^{(C)} - \theta_{a,gn}) \quad (11.154)$$

$$P_{gn,env}^{(C)} \approx P'_{gn,env} \cdot \frac{(\theta_{gn,test}^{(C)} - \theta_{a,gn})}{(\theta_{gn,test} - \theta_{a,test})} \quad (11.155)$$

dove:

$P_{ch,on}^{(D)}$ indica le perdite percentuali al camino a bruciatore acceso nell'ipotesi di fumi secchi ma nelle condizioni nominali di funzionamento a condensazione (C), [%];

$P_{gn,env}^{(C)}$ indica la perdita termica percentuale al mantello, ricalcolata alla temperatura di test in condizioni di condensazione a partire dal valore nominale riferito alla temperatura $\theta_{gn,test} = 70^\circ\text{C}$, [%];

$P'_{ch,on}$ è la perdita termica percentuale nominale al camino a bruciatore acceso, [%];

$P'_{gn,env}$ è la perdita termica percentuale nominale al mantello del generatore, [%];

$\theta_{gn,test}^{(C)}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore in condizioni di test, per cui è stato ricavato $\eta_{tu}^{(C)}$, [°C];

$\theta_{gn,test}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore in condizioni di test, pari a 70°C ;

$\theta_{a,gn}$ è la temperatura dell'ambiente in cui è installato il generatore, [°C];

$\theta_{a,test}$ è la temperatura dell'ambiente nelle condizioni di test, pari a 20°C .

Il valore della temperatura media dell'acqua nel generatore in condizioni di test dipende dalle temperature di riferimento per il rendimento termico utile del generatore nelle condizioni di funzionamento a condensazione, $\eta_{tu}^{(C)}$:

$$\text{se } \eta_{tu}^{(C)} \Big|_{30}^{40} \quad \text{allora } \theta_{gn,test}^{(C)} = 35^\circ\text{C}$$

$$\text{se } \eta_{tu}^{(C)} \Big|_{30}^{50} \quad \text{allora } \theta_{gn,test}^{(C)} = 40^\circ\text{C}$$

Il fattore di recupero di condensazione nominale è vincolato alla condizione seguente:

$$\text{se } |R_N| > \frac{PCS - PCI}{PCI} \cdot 100 \quad \text{allora } R_N = \frac{PCS - PCI}{PCI} \cdot 100 \quad (11.156)$$

dove:

PCS è il potere calorifico superiore del combustibile (Prospetto 11.XXVIII), [kcal/m³] o [kcal/kg];

PCI è il potere calorifico inferiore del combustibile (Prospetto 11.XXVIII), [kcal/m³] o [kcal/kg].

I valori di riferimento per il potere calorifico superiore e inferiore dei combustibili sono riportati nel Prospetto .

| Tipologia di combustibile | PCI | PCS |
|---------------------------|---------------|---------------|
| Gas naturale | 8250 kcal/mc | 9158 kcal/mc |
| GPL | 11000 kcal/kg | 11987 kcal/kg |
| Gasolio | 10200 kcal/kg | 10812 kcal/kg |
| Olio combustibile | 9800 kcal/kg | 10427 kcal/kg |
| Biomasse | 4200 kcal/kg | 4600 kcal/kg |

Prospetto 11.XXVIII – Valori del potere calorifico superiore ed inferiore dei combustibili
(Fonte: Bilancio Energetico Nazionale e altre fonti)

Il fattore di recupero di condensazione, in condizioni di funzionamento reali, è determinato come:

$$R(\theta_{gn,av}) = R_N \cdot \left(1 - \min \left[1; \frac{\theta_{gn,av} - \theta_{gn,test}^{(C)}}{50 - \theta_{gn,test}^{(C)}} \right] \right) \quad (11.157)$$

dove:

R_N è il fattore di recupero di condensazione nominale, [%];

$\theta_{gn,av}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore (media aritmetica di mandata e ritorno) in condizioni di funzionamento reali, [°C];

$\theta_{gn,test}^{(C)}$ è la temperatura media dell'acqua nel generatore in condizioni di test, per cui è stato ricavato $\eta_{tu}^{(C)}$, [°C].

11.8.3.7 Generatori a condensazione multistadio o modulanti

Nel caso di caldaie a condensazione multistadio o modulanti, si utilizza la procedura di calcolo descritta al § 11.8.3.5, sostituendo rispettivamente $P_{ch,on}$, $P_{ch,on,avg}$ e $P_{ch,on,min}$ con:

$$P_{ch,on}^* = P_{ch,on} - R$$

$$P_{ch,on,avg}^* = P_{ch,on,avg} - R_{avg}$$

$$P_{ch,on,min}^* = P_{ch,on,min} - R_{min}$$

dove:

R è il fattore di recupero di condensazione, espresso come percentuale di Φ_{cn} e calcolato come illustrato nel § 11.8.3.6 (assumendo come valore nominale quello alla potenza massima), in funzione dell'effettiva temperatura media di esercizio del generatore;

R_{avg} è il fattore di recupero di condensazione alla potenza media, espresso come percentuale di $\Phi_{cn,avg}$ e calcolato come illustrato nel § 11.8.3.6, del rendimento termico utile alla potenza $\Phi_{cn,avg}$, della perdita percentuale ai fumi a bruciatore acceso, $P_{ch,on,avg}$, e della perdita al mantello, $P_{gn,env}$, in

funzione sia dell'effettiva temperatura media di esercizio del generatore, sia del fattore di carico al focolare medio espresso dal rapporto $FC_{f,avg} = \frac{\Phi_{cn,avg}}{\Phi_{cn}}$, [%];

R_{min} è il fattore di recupero di condensazione alla potenza minima, espresso come percentuale di $\Phi_{cn,min}$ e calcolato come illustrato nel § 11.8.3.6 utilizzando nella (11.153) il rendimento termico utile alla potenza $\Phi_{cn,min}$, la perdita percentuale ai fumi a bruciatore acceso, $P_{ch,on,min}$, e la perdita al mantello, $P_{gn,env}$, in funzione sia dell'effettiva temperatura media di esercizio del generatore, sia del fattore di carico al focolare minimo espresso dal rapporto $FC_{f,min} = \frac{\Phi_{cn,min}}{\Phi_{cn}}$, [%].

Il rendimento alla potenza intermedia, per la determinazione di R_{avg} , si calcola per interpolazione lineare tra il rendimento alla potenza minima e il rendimento alla potenza massima.

11.8.4 Generatori a combustione di biomassa

Per i generatori che utilizzano la combustione di biogas o biocombustibile liquido, la determinazione dell'energia richiesta e delle perdite di generazione viene effettuata come descritto ai paragrafi § 11.8.2 o § 11.8.3, tenendo conto che il vettore energetico utilizzato è una fonte rinnovabile.

Per i generatori che utilizzano la combustione di biomasse solide si utilizzano i valori di prestazione precalcolati e riportati nei prospetti seguenti, per:

- generatori a biomassa solida a caricamento manuale;
- generatori a biomassa solida a caricamento automatico, quando siano verificate le condizioni al contorno specificate nella legenda dello specifico prospetto.

Per i generatori a biomassa solida a caricamento automatico che non rispettino le condizioni al contorno specificate nella legenda dello specifico prospetto la determinazione dell'energia richiesta e delle perdite di generazione viene effettuata come descritto ai paragrafi § 11.8.2 o § 11.8.3.

11.8.4.1 Quota di energia utile attribuita ai generatori a biomassa in sistemi bivalenti

Nel caso di sottosistemi di generazione bivalenti e polivalenti, la quota di energia utile fornita dai generatori a biomassa non può superare i valori riportati nei prospetti seguenti. In particolare, nel caso di una zona termica servita sia da impianto centrale con generatore di calore alimentato da combustibili fossili sia un apparecchio alimentato da biomasse con fluido termovettore aria, la quota di energia termica utile fornita da biomassa non può superare i valori indicati nel Prospetto 11.XXXI, qualora i terminali di erogazione collegati all'impianto centrale con generatore di calore alimentato da combustibili fossili siano forniti di dispositivi di regolazione individuale della temperatura ambiente. Qualora tali dispositivi non siano presenti il contributo da biomasse deve essere posto a zero. Qualora invece l'edificio sia servito esclusivamente da

generatore a biomassa con fluido termovettore aria si considera la quota fornita dal generatore a biomassa pari al 100%.

Qualora nel sistema polivalente sia previsto un sistema solare termico, le quote massime indicate nei prospetti seguenti sono da intendersi riferite al fabbisogno di energia utile al netto del contributo del sistema solare termico.

Di conseguenza si deve verificare che:

$$FC_{X,S,gn,k} \leq FC_{gn,LIM} \quad (11.158)$$

dove:

$FC_{X,S,gn,k}$ è il fattore di carico attribuito dalla centrale X per il servizio S al generatore k, equaz. (11.72),[-];

$FC_{gn,LIM}$ è il fattore di carico limite massimo attribuibile ricavabile dal Prospetto 11.XXIX o dal Prospetto 11.XXX o dal Prospetto 11.XXXI ,[-].

Se il vincolo non è rispettato al fattore di carico attribuito dalla centrale si impone il valore limite.

| Tipo generatore | Quota fornita da biomassa % | |
|--|-----------------------------|-------------------------|
| | Impianto con accumulo | Impianto senza accumulo |
| Generatore di calore a biomassa a caricamento manuale e controllo manuale dell'aria comburente | 55 | 40 |
| Generatore di calore a biomassa a caricamento manuale e controllo automatico dell'aria comburente | 75 | 65 |
| Generatore di calore a biomassa a caricamento automatico e controllo automatico dell'aria comburente | 90 | 90 |

Prospetto 11.XXIX – Sistemi per il riscaldamento combinati (riscaldamento + acs) con fluido termovettore acqua
(Fonte: UNI-TS 11300-4:2012)

| Tipo generatore | Quota fornita da biomassa % | |
|--|-----------------------------|-------------------------|
| | Impianto con accumulo | Impianto senza accumulo |
| Generatore di calore a biomassa installato in ambiente | - | - |
| Generatore di calore a biomassa installato in centrale termica a caricamento manuale | 50 | - |
| Generatore di calore a biomassa installato in centrale termica a caricamento automatico | 90 | - |
| Generatori di calore a biomassa a caricamento automatico con ventilatore a condensazione | 90 | 0 |

Prospetto 11.XXX – Sistemi per la sola produzione di acs con fluido vettore acqua
(Fonte: UNI-TS 11300-4:2012)

| Tipo generatore | Quota fornita da biomassa % ^{a)} | |
|--|---|-------------------------|
| | Impianto con accumulo | Impianto senza accumulo |
| Generatore di calore a biomassa a caricamento manuale e controllo manuale dell'aria comburente | - | 30 |
| Generatore di calore a biomassa a caricamento automatico e controllo automatico dell'aria comburente | - | 50 |

| | |
|----|---|
| a) | La quota è riferita al fabbisogno della zona effettivamente servita dal generatore a biomassa |
|----|---|

**Prospetto 11.XXXI – Sistemi per il riscaldamento con fluido termovettore aria
(Fonte: UNI-TS 11300-4:2012)**

11.8.4.2 Energia richiesta per la combustione

L'energia richiesta dal generatore per la combustione è, in generale, data da:

$$Q_{gn,in} = Q_{gn,out} + Q_{gn,ls} + (1 - k_{s,r/h}) \cdot Q_{gn,s,ls} - k_{aux,r/h} \cdot W_{gn,aux} \quad (11.159)$$

dove:

- $Q_{gn,in}$ energia richiesta dal sottosistema per la combustione, [kWh];
- $Q_{gn,out}$ energia termica utile richiesta, [kWh];
- $Q_{gn,ls}$ perdite di generazione, [kWh];
- $Q_{gn,s,ls}$ perdite di accumulo, [kWh];
- $k_{s,r/h}$ fattore di recupero delle perdite di accumulo, [-];
- $k_{aux,r/h}$ fattore di recupero dell'energia ausiliaria, [-];
- $W_{gn,aux}$ fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sistema di generazione, [kWh];

Per i generatori a biomassa, per i quali si può utilizzare il rendimento precalcolato, si ha:

$$Q_{gn,ls} = \left(\frac{1}{\eta_{gn}} - 1 \right) \cdot Q_{gn,out} \quad (11.160)$$

dove il rendimento di generazione η_{gn} precalcolato include il recupero delle seguenti perdite:

- l'energia trasmessa dal ventilatore del bruciatore;
- l'energia richiesta per l'accensione del combustibile.

Utilizzando i valori precalcolati del rendimento medio stagionale riportati nei prospetti seguenti, l'energia ausiliaria, essendo già inclusa, non può essere considerata come recuperabile e quindi si ha:

$$k_{aux,r/h} \cdot W_{gn,aux} = 0 \quad (11.161)$$

Non sono invece inclusi i potenziali recuperi legati alle perdite dovute a:

- le dispersioni termiche del mantello del generatore e dell'accumulo quando sono installati nell'ambiente riscaldato;
- la quota di energia idraulica trasmessa come energia termica al circuito dalla pompa primaria.

Il recupero dell'energia idraulica è eventualmente già contenuto nella determinazione dell'energia termica richiesta al generatore, mentre la quota recuperata delle perdite al mantello del generatore non è determinabile non essendoci, nel rendimento predeterminato, una separazione tra perdite ai fumi e quelle al mantello.

L'energia richiesta dal generatore a biomassa per la combustione, in tal caso, è quindi data da:

$$Q_{gn,in} = \frac{Q_{gn,out}}{\eta_{gn}} + Q_{gn,sJs,rvd} \quad (11.162)$$

con

$$Q_{gn,sJs,rvd} = (1 - k_{s,rth}) \cdot Q_{gn,sJs} \quad (11.163)$$

dove sono considerate eventualmente recuperate e direttamente deducibili dall'energia richiesta, le sole perdite dell'accumulo termico, calcolate come riportato al paragrafo 11.8.4.4.

11.8.4.3 Rendimenti di generazione precalcolati

Il rendimento di generazione precalcolato si determina con la relazione:

$$\eta_{gn} = \eta_{gn,base} + F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 \quad (11.164)$$

dove

$\eta_{gn,base}$ rendimento nominale dichiarato dal costruttore alle condizioni previste dalla normativa, [%];

e dove i vari fattori di correzione F desumibili dai prospetti sono relativi a:

- F1 rapporto fra la potenza del generatore installato e la potenza di progetto richiesta; per generatori modulanti, F1 si determina con riferimento alla potenza minima regolata;
- F2 installazione all'esterno;
- F3 camino di altezza maggiore di 10 m;
- F4 temperatura media di caldaia maggiore di 65 °C in condizioni di progetto;
- F5 generatore monostadio;
- F6 camino di altezza maggiore di 10 m in assenza di chiusura dell'aria comburente all'arresto;
- F7 temperatura di ritorno in caldaia nel mese più freddo.

Quando un fattore non è presente in tabella, il suo valore è zero.

11.8.4.3.1 Generatori con fluido termovettore acqua

| Valore di base ²⁾ | F1 ¹⁾ | | | F3 |
|--|------------------|----|----|----|
| | 1 | 2 | 4 | |
| Valore dichiarato dal fabbricante (Norme di riferimento: UNI EN 13229, UNI EN 13240, UNI EN 12815) | 0 | -2 | -6 | -4 |

| | | | | |
|--|---|----|----|----|
| 50% (valore di default in assenza di valore dichiarato) | 0 | -2 | -6 | -4 |
| 1) Se il generatore opera su un serbatoio inerziale dimensionato secondo la UNI EN 303-5 F1 si considera uguale a 1. | | | | |
| 2) Il valore del rendimento base è quello riferito alla potenza nominale. | | | | |

Prospetto 11.XXXII – Termocamini, termostufe e termocucine a biomassa a caricamento manuale
(Fonte: UNI-TS 11300-4:2012)

| Valore di base ²⁾ | F1 ¹⁾ | | | F2 | F3 | F4 |
|--|------------------|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 4 | | | |
| Valore dichiarato dal fabbricante (Norme di riferimento: UNI EN 303-5, UNI EN 12809) | 0 | -2 | -6 | -9 | -2 | -2 |
| 47% + 6% Log Pn (valore di default in assenza di valore dichiarato) | 0 | -2 | -6 | -9 | -2 | -2 |
| 1) Se il generatore opera su un serbatoio inerziale dimensionato secondo la UNI EN 303-5 F1 si considera uguale a 1. | | | | | | |
| 2) Il valore del rendimento base è quello riferito alla potenza nominale. | | | | | | |

Prospetto 11.XXXIII – Generatori di calore a biomassa a caricamento manuale aspirati e con ventilatore
(Fonte: UNI-TS 11300-4:2012)

| Valore di base ²⁾ | F1 ¹⁾ | | | F2 | F4 | F5 | F6 |
|--|------------------|-----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 1,5 | 2 | | | | |
| Valore dichiarato dal fabbricante (Norme di riferimento: UNI EN 303-5, UNI EN 12809, UNI EN 14785) | 0 | -1 | -2 | -2 | -1 | -1 | -2 |
| 75% (valore di default in assenza di valore dichiarato) | 0 | -1 | -2 | -2 | -1 | -1 | -2 |
| 1) Se il generatore opera su un serbatoio inerziale dimensionato secondo la UNI EN 303-5 F1 si considera uguale a 1. | | | | | | | |
| 2) Il valore del rendimento base è quello riferito alla potenza nominale. | | | | | | | |

Prospetto 11.XXXIV – Generatori di calore a biomassa a caricamento automatico con ventilatore
(Fonte: UNI-TS 11300-4:2012)

| Valore di base ²⁾ | F1 ¹⁾ | | | F2 | F5 | F6 | F7 | | | |
|--|------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | 1 | 1,5 | 2 | | | | 40 | 50 | 60 | >60 |
| Valore dichiarato dal fabbricante (Norme di riferimento: UNI EN 303-5, UNI EN 12809, UNI EN 14785) | 0 | -1 | -2 | -1 | -2 | -2 | 0 | -3 | -5 | -6 |
| 75% (valore di default in assenza di valore dichiarato) | 0 | -1 | -2 | -1 | -2 | -2 | 0 | -3 | -5 | -6 |
| 1) Se il generatore opera su un serbatoio inerziale dimensionato secondo la UNI EN 303-5 F1 si considera uguale a 1. | | | | | | | | | | |
| 2) Il valore del rendimento base è quello riferito alla potenza nominale. | | | | | | | | | | |

Prospetto 11.XXXV – Generatori di calore a biomassa a condensazione a caricamento automatico con ventilatore
(Fonte: UNI-TS 11300-4:2012)

11.8.4.3.2 Generatori con fluido termovettore aria

| Valore di base ²⁾ | F1 ¹⁾ | | | F3 |
|------------------------------|------------------|---|---|----|
| | 1 | 2 | 4 | |

| | | | | |
|--|---|----|----|----|
| Valore dichiarato dal fabbricante (Norme di riferimento: UNI EN 13229, UNI EN 13240, UNI EN 12815, UNI EN 15250) | 0 | -2 | -6 | -4 |
| 50% (valore di default in assenza di valore dichiarato) | 0 | -2 | -6 | -4 |
| 1) Se il generatore opera su un serbatoio inerziale dimensionato secondo la UNI EN 303-5 F1 si considera uguale a 1. | | | | |
| 2) Il valore del rendimento base è quello riferito alla potenza nominale. | | | | |

Prospetto 11.XXXVI – Caminetti, inserti a focolare chiuso, stufe e cucine a caricamento manuale (Fonte: UNI-TS 11300-4:2012)

| Valore di base ²⁾ | F1 ¹⁾ | | |
|--|------------------|-----|----|
| | 1 | 1,5 | 2 |
| Valore dichiarato dal fabbricante (Norme di riferimento: UNI EN 14785) | 0 | -1 | -2 |
| 75% (valore di default in assenza di valore dichiarato) | 0 | -1 | -2 |
| 1) Se il generatore opera su un serbatoio inerziale dimensionato secondo la UNI EN 303-5 F1 si considera uguale a 1. | | | |
| 2) Il valore del rendimento base è quello riferito alla potenza nominale. | | | |

Prospetto 11.XXXVII – Generatori di calore a biomassa a caricamento automatico con ventilatore (Fonte: UNI-TS 11300-4:2012)

11.8.4.4 Perdite recuperabili e recuperate

Per i generatori termici a biomassa sono considerate direttamente recuperabili e deducibili dall'energia richiesta le dispersioni termiche dell'accumulo quando è installato nell'ambiente riscaldato.

Le suddette perdite recuperabili sono calcolate, in funzione del servizio alimentato dal generatore, secondo quanto riportato al paragrafo § 7.5 (acqua calda sanitaria) o al paragrafo § 8.7 (riscaldamento e/o climatizzazione invernale).

Le perdite recuperate e direttamente deducibili dall'energia richiesta per la combustione sono calcolate come:

$$Q_{gn,sjs,rvd} = (1 - b_{gs}) \cdot k_{gs} \cdot Q_{gn,sjs} \quad (11.165)$$

dove:

b_{gs} è il fattore di perdita non recuperata dell'accumulatore termico, pari a:

- $b_{gs} = 0$ se è posto in ambiente climatizzato;
- $b_{gs} = 1$ se è posto fuori da ambiente climatizzato;

k_{gs} è il fattore di perdita legato al servizio reso

- $k_{gs} = 1$ se produzione di acqua calda sanitaria;

- $k_{gs} = 0,8$ se riscaldamento e/o climatizzazione invernale o anche acqua calda sanitaria.

NOTA: Le perdite si considerano recuperabili SOLO durante il periodo di attivazione del riscaldamento. Al di fuori di tale periodo, $b_{gs}=1$.

11.8.4.5 Calcolo dell'energia dei sistemi ausiliari

Con l'impiego dei rendimenti di generazione precalcolati, la determinazione dell'energia ausiliaria viene effettuata come segue:

$$W_{gn,aux} = \dot{W}_{gn,aux,av} \cdot \Delta t_{gn} \quad (11.166)$$

dove:

$\dot{W}_{gn,aux,av}$ è potenza degli ausiliari del generatore alla potenza media, [W];

Δt_{gn} è l'intervallo di tempo di funzionamento del generatore assunto pari a l'intervallo di calcolo, Δt , durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

La potenza degli ausiliari del generatore alla potenza media, $\dot{W}_{gn,aux,av}$, si calcola come:

- se $0 \leq FC_{gn,av} \leq FC_{gn,int}$:

$$\dot{W}_{gn,aux,av} = \dot{W}_{gn,aux,off} + \frac{FC_{gn,av}}{FC_{gn,int}} \cdot (\dot{W}_{gn,aux,int} - \dot{W}_{gn,aux,off}) \quad (11.167)$$

- se $FC_{gn,int} \leq FC_{gn,av} \leq FC_{gn,N}$:

$$\dot{W}_{gn,aux,av} = \dot{W}_{gn,aux,int} + \frac{FC_{gn,av} - FC_{gn,int}}{FC_{gn,N} - FC_{gn,int}} \cdot (\dot{W}_{gn,aux,N} - \dot{W}_{gn,aux,int}) \quad (11.168)$$

Ai fini del calcolo del fattore di carico nel caso in cui non sia nota la potenza minima termica utile del generatore di calore, $\Phi_{gn,min}$, (caldaie non conformi alla UNI EN 303-5) si assume:

- per i generatori a caricamento manuale

$$\Phi_{gn,min} = 0,7 \cdot \Phi_{gn,N} \quad (11.169)$$

- per i generatori a caricamento automatico

$$\Phi_{gn,min} = 0,2 \cdot \Phi_{gn,N} \quad (11.170)$$

dove:

$\Phi_{gn,N}$ è potenza termica utile nominale del generatore (alla potenza massima), [W].

I valori di $\dot{W}_{gn,aux}$ a carico nominale, a carico intermedio e a carico nullo sono forniti dal fabbricante se la caldaia è costruita secondo la UNI EN 303-5.

In assenza di tali valori, ai fini del calcolo fabbisogno di energia elettrica ausiliaria, essi possono essere determinati come segue:

- il fabbisogno di energia ausiliaria si calcola in relazione a due tipi di generatori, atmosferici e con ventilatore;
- si trascura l'energia richiesta per la regolazione e per l'accensione e si considera solo l'energia ausiliaria richiesta per la combustione e per il sistema di accumulo (bilanciamento).

La potenza elettrica degli ausiliari in mancanza di dati forniti dal costruttore deve essere calcolata con l'equazione seguente:

$$\dot{W}_{gn,aux} = A + B \cdot \left(\frac{\Phi_{gn,N}}{1000} \right)^n \quad (11.171)$$

dove:

$\dot{W}_{gn,aux}$ è la potenza degli ausiliari del generatore a potenza termica nominale, intermedia o nulla, [W].

$\Phi_{gn,N}$ è potenza termica utile nominale del generatore (alla potenza massima), [W];

A,B,n sono i parametri per potenza termica nominale, intermedia o nulla, riportati nel Prospetto 11.XXXVIII per generatori con fluido vettore acqua e nel Prospetto 11.XXXIX per generatori con fluido vettore aria.

| Tipo generatore | Carico del generatore | A | B | n |
|----------------------------|-----------------------|----|------|------|
| Generatori atmosferici | $\Phi_{gn,N}$ | 40 | 0,35 | 1 |
| | $\Phi_{gn,int}$ | 20 | 0,1 | 1 |
| | $\Phi_{gn,off}$ | 15 | 0 | 0 |
| Generatori con ventilatore | $\Phi_{gn,N}$ | 0 | 45 | 0,48 |
| | $\Phi_{gn,int}$ | 0 | 15 | 0,48 |
| | $\Phi_{gn,off}$ | 15 | 0 | 0 |

Prospetto 11.XXXVIII – Valori di default per il calcolo della potenza degli ausiliari per generatori a biomassa con fluido vettore acqua
(Fonte: UNI-TS 11300-4:2012)

| Tipo generatore | Carico del generatore | A | B | n |
|------------------------|-----------------------|---|---|---|
| Generatori atmosferici | $\Phi_{gn,N}$ | 0 | 0 | 0 |
| | $\Phi_{gn,int}$ | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|----------------------------|-----------------|----|----|------|
| | $\Phi_{gn,off}$ | 0 | 0 | 0 |
| Generatori con ventilatore | $\Phi_{gn,N}$ | 0 | 45 | 0,48 |
| | $\Phi_{gn,int}$ | 0 | 15 | 0,48 |
| | $\Phi_{gn,off}$ | 15 | 0 | 0 |

Prospetto 11.XXXIX – Valori di default per il calcolo della potenza degli ausiliari per generatori a biomassa con fluido vettore aria
(Fonte: UNI-TS 11300-4:2012)

11.8.4.6 Sottosistema di accumulo

La UNI EN 305-5 prevede di collegare alle caldaie a biomassa a caricamento manuale un accumulo inerziale quando la potenza termica utile nominale del generatore, $\Phi_{gn,N}$, eccede quella richiesta da progetto, Φ_{des} ; in particolare quando $\Phi_{gn,N}/\Phi_{des} \geq 1,5$.

L'obiettivo principale di un accumulo inerziale per le caldaie a biomassa a caricamento manuale è quello di:

- conservare il calore tra i cicli di funzionamento;
- migliorare il comfort per l'utente;
- bilanciare il sistema in funzione del fattore di carico dell'impianto.

Nei sistemi con caldaia a caricamento automatico l'accumulo inerziale permette anche i seguenti benefici:

- riduzione delle accensioni e spegnimenti del bruciatore con miglioramento del rendimento medio stagionale;
- prolungamento del tempo di accensione del bruciatore. Un sistema di accumulo comprende i seguenti componenti:
 - o serbatoio di stoccaggio;
 - o tubazioni di distribuzione tra la caldaia e accumulo, pompa di circolazione, regolazione.

Le perdite del sistema di accumulo inerziale si calcolano secondo quanto riportato al paragrafo § 7.5 (acqua calda sanitaria) o al paragrafo § 8.7 (riscaldamento e/o climatizzazione invernale).

Per le caldaie a caricamento manuale, qualora non fosse noto il volume del serbatoio di accumulo inerziale, si calcola attraverso la seguente equazione:

$$V_{acc} = 0,015 \cdot \Delta t_{gn} \cdot \Phi_{gn,N} \left(1 - 0,3 \cdot \frac{\Phi_{des}}{\Phi_{gn,min}} \right) \quad (11.172)$$

dove:

V_{acc} è il volume dell'accumulo termico, [l];

$\Phi_{gn,N}$ è potenza termica utile nominale del generatore (alla potenza massima), [W];

$\Phi_{gn,min}$ è potenza termica utile nominale minima del generatore, [W];

Φ_{des} è potenza termica richiesta al generatore per soddisfare la quota che gli compete di carico termico dell'edificio in condizioni di progetto, [W];

Δt_{gn} è l'intervallo di tempo previsto di funzionamento del generatore nel periodo di calcolo assunto pari a l'intervallo di calcolo, Δt , durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Mentre per i sistemi a caricamento automatico il volume dell'accumulo è dato da:

$$V_{acc} = k_{acc} \cdot \Phi_{des} \quad (11.173)$$

dove:

k_{acc} è il fabbisogno in litri per W di potenza assunto pari a 0,025 l/W.

11.8.5 Generatori di acqua calda elettrici ad effetto Joule

Per generatori di acqua calda tramite effetto Joule, le perdite del sottosistema di generazione si calcolano tenendo conto del fattore di perdita dichiarato dal fabbricante del generatore.

$$Q_{gn,ls} = \Phi_{gn,out,N} \cdot P'_{gn,env} \cdot \frac{\theta_{gn,av} - \theta_{gn,int}}{\Delta\theta_{gn,test}} \cdot (1 - k_{gn,rh}) \cdot \Delta t_{gn} \quad (11.174)$$

dove:

$\Phi_{gn,out,N}$ è la potenza nominale delle resistenze elettriche del generatore, [W];

$P'_{gn,env}$ è il fattore di perdita dichiarato dal fabbricante, riferito alla portata termica potenza nominale delle resistenze elettriche (potenza elettrica nominale immessa) in condizioni di prova (in assenza di dati dichiarati il fattore di perdita di calcola con la formula (11.175)), [%];

$\theta_{gn,av}$ è la temperatura media effettiva del generatore elettrico [°C];

$\Delta\theta_{gn,test}$ è la differenza fra la temperatura nel generatore e l'ambiente di installazione in condizioni di prova (in assenza di dati dichiarati si assume una differenza tra temperatura media dell'acqua nel generatore e temperatura del locale di installazione pari a 50 K), [K];

$\theta_{gn,int}$ è la temperatura del locale di installazione del generatore elettrico, [°C];

Δt_{gn} è la durata dell'intervallo di calcolo assunto pari a l'intervallo di calcolo, Δt , durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh];

$k_{gn,rh}$ è il fattore di recupero legato al tipo di locale di installazione (da applicare solo nel periodo invernale) [-].

Qualora il fattore di perdita non sia disponibile, esso si calcola con la formula seguente:

$$P'_{gn,env} = 1,5 - 0,44 \cdot \log_{10} \left(\frac{\Phi_{gn,out,N}}{1000} \right) \quad (11.175)$$

11.8.6 Generatori ad aria calda a fuoco diretto utilizzando combustibili fossili

Nel caso di sistemi di generazione ad aria calda, le perdite di processo del generatore sono quantificate dalla:

$$Q_{gn,ls} = \left(\frac{1}{\eta_{gH}} - 1 \right) \cdot Q_{gn,out} \quad (11.176)$$

dove:

$Q_{gn,ls}$ è la perdita termica di processo del sottosistema di generazione, [kWh];

η_{gH} è il rendimento termico utile del generatore ad aria calda, in assenza di dati forniti dal costruttore si fa riferimento al Prospetto 11.XL;

$Q_{gn,out}$ è l'energia termica prodotta dal generatore ad aria calda, [kWh].

Analogamente, l'energia richiesta in ingresso al generatore (energia del combustibile) è data da:

$$Q_{gn,in} = \frac{Q_{gn,out}}{\eta_{gH}} \quad (11.177)$$

| Tipo di generatore | Valore di base η_{gH} | Riduzione per installazione all'esterno |
|---|----------------------------|---|
| Generatori di aria calda a gas o gasolio con bruciatori ad aria soffiata o premiscelato, funzionamento on-off | 90 | 3 |
| Generatori di aria calda a gas a camera stagna con ventilatore nel circuito di combustione di tipo B o C, funzionamento on-off | 90 | 3 |
| Generatori di aria calda a gas o gasolio con bruciatori ad aria soffiata o premiscelato, funzionamento bistadio o modulante | 93 | 2 |
| Generatori di aria calda a gas a camera stagna con ventilatore nel circuito di combustione di tipo B o C, bistadio o modulazione aria-gas | 93 | 2 |
| Generatori di aria calda a gas a condensazione regolazione modulante aria-gas | 100 | 1 |

Prospetto 11.XL – Rendimenti convenzionali per generatori ad aria calda, η_{gH}
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

L'energia elettrica assorbita dalla/e pompe e/o ventilatori del generatore di calore ad aria calda, W_{gn} , si calcola come:

$$W_{gn} = FC_{X,H} \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^n \dot{W}_{aux,i} \quad (11.178)$$

dove:

W_{gn} è l'energia elettrica assorbita dalla/e pompe e/o ventilatori del generatore di calore ad aria calda, [kWh];

$\dot{W}_{aux,i}$ è la potenza nominale dell'ausiliario i-esimo della pompa di calore, [W];

$FC_{X,H}$ è il fattore di carico termico utile del generatore (campo di validità 0-1) così come definito al paragrafo § 11.5, con riferimento alla generica centrale di tipo X;

Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

11.8.7 Teleriscaldamento

Un sistema di teleriscaldamento è un sistema di produzione e distribuzione di energia termica in forma di vapore, acqua calda o surriscaldata da una o più fonti di produzione che utilizzano generatori e vettori energetici diversi verso una pluralità di edifici o siti tramite una rete, per la climatizzazione invernale di edifici e la produzione di acqua calda sanitaria, posseduti e gestiti da soggetti terzi rispetto alla proprietà degli edifici serviti, in conformità alla vigente legislazione. È quindi compito di tali soggetti fornire i dati sull'efficienza di generazione e distribuzione fino al punto di consegna all'edificio, definito nel seguito con il termine **sottostazione di scambio** (Figura 11.8) .

La sottostazione di scambio può essere:

- a sistema diretto nel caso non vi sia separazione idraulica tra circuito primario (la rete di distribuzione) e circuito secondario (la rete dell'utenza);
- a sistema indiretto nel caso in cui il collegamento tra primario (la rete di distribuzione) e secondario (la rete dell'utenza) preveda uno o più scambiatori di calore a superficie.

11.8.7.1 Energia richiesta dalla sottostazione

Il fabbisogno di energia richiesto nel periodo di riscaldamento alla rete di teleriscaldamento è dato dal bilancio energetico applicato alla sottostazione di scambio:

$$Q_{gn,in} = Q_{gn,out} + Q_{gn,L} \quad (11.179)$$

dove:

$Q_{gn,in} = Q_{ss,in}$ è la quantità di energia termica in entrata alla sottostazione di scambio, [kWh];

$Q_{gn,out} = Q_{ss,out}$ è la quantità di energia termica in uscita dalla sottostazione di scambio e fornita al sottosistema di distribuzione dell'impianto, [kWh];

$Q_{gn,L} = Q_{ss,L}$ è la quantità di energia termica dispersa in ambiente dalla sottostazione di scambio, [kWh].

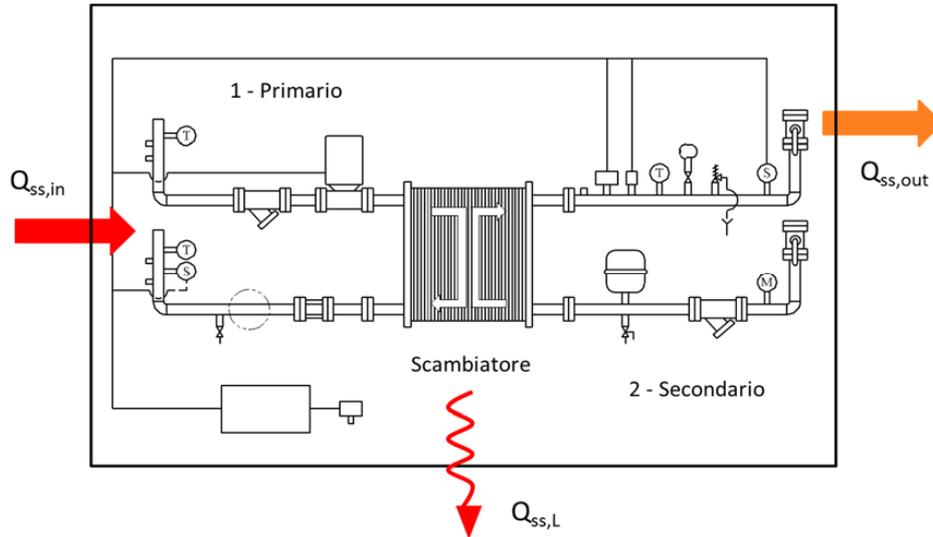


Figura 11.8 – Schema sottostazione di scambio del teleriscaldamento

La quantità di energia termica richiesta alla sottostazione di scambio, $Q_{gn,out}$, viene calcolata secondo la procedura definita al § 11.5.1 o al § 11.5.2, ed eventualmente tiene conto delle perdite termiche recuperate, come:

$$Q_{gn,out} = Q_{X,S,gn,out,k} - Q_{gn,L,rvd} \quad (11.180)$$

dove

$Q_{X,S,gn,out,k}$ è la quantità di energia termica richiesta alla sottostazione di scambio dalla centrale X per il servizio S, [kWh], paragrafo § 11.5.1 o al paragrafo § 11.5.2;

$Q_{gn,L,rvd}$ è la quantità di energia termica direttamente recuperata [kWh], data dall'equazione (11.186).

Il calcolo delle perdite della sottostazione di scambio viene determinato con la seguente espressione:

$$Q_{gn,L} = \frac{P_{ss,env}}{100} \cdot \Phi_{ss} \cdot \Delta t_{ss} \quad (11.181)$$

dove:

$Q_{gn,L}$ è la quantità di energia termica dispersa in ambiente dalla sottostazione di scambio, [kWh];

Φ_{ss} è la potenza termica nominale della sottostazione, [W];

$P_{ss,env}$ è la percentuale di potenza termica persa dalla sottostazione di scambio nelle condizioni di esercizio calcolata secondo la (11.182), [%];

Δt_{ss} è l'intervallo il tempo di attivazione dell'impianto, assunto pari alla durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

La percentuale di potenza termica persa dalla sottostazione è fornita dalla seguente espressione:

$$P'_{ss,env} = P'_{ss,env} \cdot \frac{\theta_{ss,w,avg} - \theta_{a,ss}}{\theta_{ss,w,rif} - \theta_{a,rif}} \quad (11.182)$$

dove:

$\theta_{ss,w,avg}$ è la temperatura media del fluido nella sottostazione, data dalla media aritmetica della temperatura di andata e di quella di ritorno del circuito primario riportate nel progetto o sulla targa dello scambiatore; qualora tale valore non sia noto, si faccia riferimento al Prospetto 11.XLIII [°C];

$\theta_{a,ss}$ è la temperatura dell'ambiente ove è installata la sottostazione, (Prospetto), [°C];

$\theta_{ss,w,rif}$ è la temperatura media di riferimento del fluido termovettore nella sottostazione (Prospetto 11.XLI), [°C];

$\theta_{a,rif}$ è la temperatura dell'ambiente nelle condizioni di riferimento, (Prospetto 11.XLI), [°C];

e con:

$$P'_{ss,env} = C_2 - C_3 \cdot \log_{10} \left(\frac{\Phi_{ss}}{1000} \right) \quad (11.183)$$

dove:

C_2, C_3 sono i coefficienti riportati nel Prospetto 11.XLI;

Φ_{ss} è la potenza termica nominale della sottostazione, [W].

NOTA: Questa relazione è valida solo per valori di potenza inferiori o uguali a 3 MW. Negli altri casi va utilizzato il valore calcolato a 3 MW.

Nel caso in cui il fornitore della sottostazione dichiara il fattore di perdita della sottostazione, k_{ss} , la quantità di energia termica dispersa in ambiente dalla sottostazione si calcola come segue:

$$Q_{gn,L} = K_{ss} \cdot (\theta_{ss,w,avg} - \theta_{a,ss}) \cdot \Delta t_{ss} \quad (11.184)$$

dove:

$Q_{gn,L}$ è la quantità di energia termica dispersa in ambiente dalla sottostazione di scambio, [kWh];

K_{ss} è il fattore di perdita della sottostazione, [W/K];

$\theta_{ss,w,avg}$ è la temperatura media del fluido nella sottostazione, data dalla media aritmetica della temperatura di andata e di quella di ritorno del circuito primario riportate nel progetto o sulla targa dello scambiatore; qualora tale valore non sia noto, si faccia riferimento al Prospetto 11.XLIII [°C];

$\theta_{a,ss}$ è la temperatura dell'ambiente ove è installata la sottostazione, (Prospetto 11.XLII), [°C];

Δt_{ss} è l'intervallo il tempo di attivazione dell'impianto, assunto pari alla durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

| Coefficienti | C2 | C3 |
|--|----|------|
| | | 2,24 |
| Temperatura media di riferimento $\theta_{ss,w,rif}$ | 85 | |
| Temperatura media di riferimento $\theta_{a,rif}$ | 20 | |

Prospetto 11.XLI – Valori dei coefficienti e temperature di riferimento per il calcolo delle perdite di default
(Fonte: UNI TS 11300-4:2012)

| Ubicazione della sottostazione | b_{gss} [-] | $\theta_{a,test}$ [°C] | $\theta_{a,ss}$ [°C] |
|--------------------------------|---------------|------------------------|----------------------|
| In centrale termica | 0,3 | 20 | 15 |
| In ambiente climatizzato | 0 | 20 | θ_i |
| All'esterno | 1 | 20 | θ_e |

Prospetto 11.XLII – Fattori di correzione delle perdite della sottostazione
(Fonte: UNI TS 11300-4:2012)

| | |
|---------------------------------------|-------|
| Rete ad acqua calda bassa temperatura | 70 °C |
| Rete ad acqua surriscaldata | 90 °C |

Prospetto 11.XLIII – Temperature medie del fluido termovettore primario
(Fonte: UNI TS 11300-4:2012)

La quota di energia termica persa considerata recuperabile, $Q_{gn,L,rbl}$, è data da:

$$Q_{gn,L,rbl} = 0,8 \cdot Q_{gn,L} \quad (11.185)$$

dove

$Q_{gn,L}$ è la quantità di energia termica dispersa in ambiente dalla sottostazione di scambio, [kWh];

0,8 è il fattore di recuperabilità delle perdite termiche, [-].

La quota di energia termica direttamente recuperata, $Q_{gn,L,rvd}$, e direttamente deducibile dall'energia termica richiesta, è paria a:

$$Q_{gn,L,rvd} = (1 - b_{gss}) \cdot Q_{gn,L,rbl} \quad (11.186)$$

dove:

b_{gss} è il fattore di perdita non recuperata della sottostazione, desumibile dal Prospetto 11.XLII, [-].

NOTA: Le perdite si considerano recuperabili SOLO durante il periodo di attivazione del riscaldamento. Al di fuori di tale periodo, $b_{gss}=1$.

L'energia elettrica assorbita dagli ausiliari viene considerata nulla, in quanto la circolazione sul primario dello scambiatore è assicurata dalla rete di teleriscaldamento e la circolazione sul secondario è realizzata con pompa primaria associata direttamente al sistema di distribuzione primario; da cui:

$$W_{gn} = 0 \quad (11.187)$$

11.8.8 Pompe di calore

La procedura per il calcolo delle prestazioni delle pompe di calore riportata nel presente dispositivo si applica a pompe di calore a compressione di vapore e a pompe di calore ad assorbimento, utilizzanti come sorgente termica l'aria, il terreno o le acque, sia di falda sia superficiali, e impiegate quali generatori termici per i servizi di riscaldamento e/o climatizzazione invernale e di produzione acqua calda sanitaria tramite fluidi termovettore sia aria che acqua. Nel caso particolare di pompe di calore ibride o bi-combustibile (sistemi integranti una pompa di calore a compressione e un generatore termico a combustione con fiamma) dato che queste lavorano in modo alternato, o come pompa di calore o come generatore a combustione, in funzione della regolazione impostata dall'utenza, è possibile utilizzare la seguente procedura applicata alla sola componente a pompa di calore, e quella relativa ai generatori a combustione per la tale parte, se si dispone dei dati necessari e se sono fissate chiaramente le condizioni di attivazione della parte a pompa di calore (temperatura limite di funzionamento, ecc.).

Le pompe di calore sono nel seguito classificate in funzione del:

- tipo di servizio;
- tipo di fluido termovettore lato utenza;
- tipo di sorgente fredda correlata al tipo di fonte energetica sfruttata;
- tipo di tipo di fluido termovettore impiegato;
- tipo di tecnologia;
- tipo di vettore energetico impiegato per l'azionamento.

Si considerano i seguenti tipi di servizio:

- riscaldamento;
- acqua calda sanitaria;
- combinato riscaldamento/acqua calda sanitaria.

Rispetto al fluido termovettore impiegato nel circuito di distribuzione all'utenza, le pompe di calore possono essere:

- ad aria;
- ad acqua;
- a condensazione diretta (il fluido termovettore è lo stesso fluido refrigerante).

Il tipo di fonte energetica sfruttata è relativo al tipo di sorgente termica utilizzata e non al tipo di vettore energetico utilizzato per azionare la pompa di calore, né al tipo di fluido termovettore impiegato per estrarre energia dalla sorgente. Una classificazione completa delle sorgenti termiche, delle tipologie di fonti energetiche sfruttate e fluidi termovettori relativi è riportata nel Prospetto 11.XLIV.

| Sorgente termica | Fluido termovettore | Tipologia della fonte di energia sfruttata | Modalità di estrazione |
|--|---|---|---|
| Aria esterna | Aria esterna | Rinnovabile aerotermica | Raffreddamento e deumidificazione dell'aria esterna attraverso batteria di raffreddamento ad evaporazione diretta di refrigerante |
| Aria esterna | Acqua/Salamoia | Rinnovabile aerotermica | Raffreddamento e deumidificazione dell'aria esterna attraverso batteria di raffreddamento ad acqua / a salamoia |
| Aria interna | Aria interna | Rinnovabile solo se aria di espulsione da ambiente non riscaldato o climatizzato; | Raffreddamento e deumidificazione dell'aria espulsa in sistemi di recupero |
| Roccia | Acqua/Salamoia | Rinnovabile geotermica | Raffreddamento del sottosuolo |
| Terreno | Acqua/Salamoia/ Evaporazione diretta | Rinnovabile geotermica | Raffreddamento del sottosuolo |
| Acqua di falda | Acqua | Rinnovabile geotermica | Raffreddamento del sottosuolo |
| Acqua di mare | Acqua | Rinnovabile idrotermica | Raffreddamento acque superficiali |
| Acqua di lago | Acqua | Rinnovabile idrotermica | Raffreddamento acque superficiali |
| Acqua di fiume | Acqua | Rinnovabile idrotermica | Raffreddamento acque superficiali |
| Acqua di risulta e liquami di processi tecnologici | Acqua | Non rinnovabile | Raffreddamento acque e/o liquami di processo |
| Liquami urbani | Acqua | Assimilabile a rinnovabile | Raffreddamento liquami urbani |

Prospetto 11.XLIV – Classificazione per fonte energetica sfruttata
(Fonte: adattato da UNI TS 11300-4:2012)

La tecnologia adottata corrisponde al tipo di processo termodinamico che consente di realizzare il trasferimento di energia termica da una sorgente a temperatura inferiore a un ricevente a temperatura superiore. In tal senso le pompe di calore si suddividono in:

- a compressione di vapore;
- ad assorbimento (assorbimento);
- ad adsorbimento.

I vettori energetici impiegati sono in parte correlati alla tecnologia adottata e possono essere:

- energia elettrica (pompe di calore a compressione di vapore azionate da motore elettrico);
- combustibili gassosi e liquidi (pompe di calore ad assorbimento/adsorbimento con generatore termico a fiamma incorporato o pompe di calore a compressione di vapore azionate da motore a combustione);
- energia termica (pompe di calore ad assorbimento/adsorbimento ad azionamento termico indiretto).

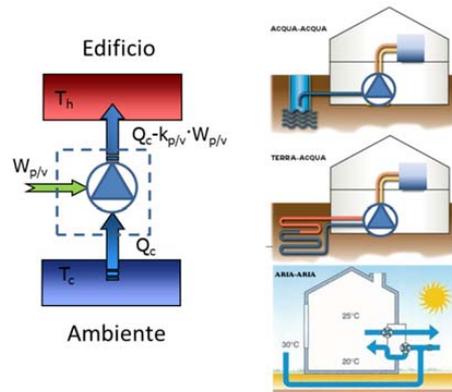


Figura 11.9 – Schema pompa di calore a compressione di vapore con diverse sorgenti

11.8.8.1 Bilancio energetico della pompa di calore

Il bilancio energetico per un generatore termico a pompa di calore in funzionamento ciclico (cioè in regime quasi stazionario), indipendentemente dal vettore energetico impiegato per il suo funzionamento, dalla tecnologia e dalla tipologia di sorgente fredda utilizzata, è dato, secondo il confine tratteggiato più esterno dello schema di Figura 11.10 (linea tratto- punto), da:

$$Q_{GN, in} + Q_{GN, amb} + W_{GN, aux} = Q_{GN, out} + Q_{GN, L} \tag{11.188}$$

dove:

$Q_{GN, in} = E_x$ è la quantità di energia chimica del combustibile, termica o elettrica in ingresso alla specifica pompa di calore impiegata, [kWh];

$Q_{GN, amb}$ è la quantità di energia termica estratta dalla sorgente fredda, [kWh];

$W_{GN, aux}$ è l'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del generatore a pompa di calore, [kWh].

$Q_{GN, out}$ è la quantità di energia termica in uscita dal generatore a pompa di calore, [kWh];

$Q_{GN, L}$ è la perdita termica complessiva del generatore a pompa di calore, [kWh].

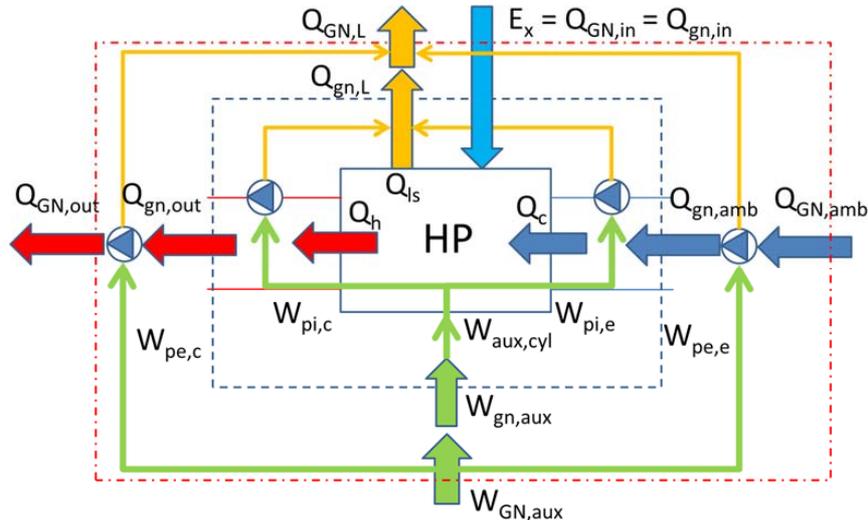


Figura 11.10 – Schema funzionale generalizzato della pompa di calore con ausiliari a bordo macchina.

Il confine intermedio in Figura 11.10 consente di determinare il bilancio energetico della pompa di calore nelle condizioni di prova, separando la pompa di calore dai tratti di circuito per la movimentazione dei fluidi termovettore esterni rispetto al confine fisico della macchina, in generale presenti sia sul lato sorgente che sul lato utenza. Tali tratti di circuito sono infatti caratterizzati da dispersioni termiche e perdite di carico che non sono attribuibili in alcun modo alla pompa di calore vera e propria. Nello schema di Figura 11.10 sono indicati la pompa o ventilatore lato utenza e la pompa o ventilatore lato sorgente disposti sia tra il confine continuo più interno e quello intermedio tratteggiato, sia tra il confine intermedio e quello più esterno. Tale distinzione è puramente virtuale e serve per mettere in evidenza la separazione tra consumi elettrici degli ausiliari dovuti alla movimentazione del fluido termovettore attraverso lo scambiatore lato utenza e lo scambiatore lato sorgente della macchina, associati alle pompe virtuali più interne e indicati rispettivamente come $W_{pi,c}$ e $W_{pi,e}$, e quelli dovuti alla movimentazione degli stessi fluidi nei circuiti di distribuzione esterni agli stessi, associati alle pompe virtuali più esterne e indicati con $W_{pe,c}$ e $W_{pe,e}$. Grazie alla separazione dei suddetti consumi elettrici è possibile la corretta valutazione in condizioni prova dei coefficienti di prestazione, che esprimono il rapporto tra l'energia termica fornita e l'energia spesa, differenziati per vettore energetico (COP per pompe di calore elettriche, GUE e AEF per le pompe di calore a gas). Tali coefficienti comprendono nell'energia elettrica spesa, oltre l'energia per gli ausiliari a bordo macchina, $W_{aux,cyl}$, (pompe di circolazione interna del refrigerante, riscaldatore elettrico olio del carter, soffiatore, sistema di controllo, ecc.; N.B. l'energia elettrica spesa per azionare il compressore è il vettore energetico di azionamento, $Q_{gn,in}$), l'energia elettrica delle pompe/ventilatori che serve a compensare **esclusivamente** le perdite di carico sui circuiti degli scambiatori lato utenza e lato sorgente, conteggiate tramite gli assorbimenti elettrici, $W_{pi,c}$ e $W_{pi,e}$). In modo analogo, nell'energia termica fornita sono inclusi i recuperi delle dissipazioni termiche associate alla pompa virtuale interna lato utenza, $W_{pi,c}$.

Infine il confine più interno in Figura 11.10 consente di determinare il bilancio energetico del ciclo termodinamico con cui opera la macchina al netto dei contributi degli ausiliari necessari per la movimentazione del fluido termovettore nei circuiti esterni al ciclo termodinamico.

Riscrivendo quindi il bilancio energetico rispetto al confine intermedio, sempre con riferimento alla Figura 11.10, il fabbisogno di energia del generatore a pompa di calore è dato da:

$$Q_{gn,in} = E_x = Q_{gn,out} + Q_{gn,L} - Q_{gn,amb} - W_{gn,aux} \quad (11.189)$$

dove:

$Q_{gn,in}=E_x$ è la quantità di energia chimica del combustibile, termica o elettrica in ingresso alla specifica pompa di calore impiegata, [kWh]; E vettore energetico di tipo x;

$Q_{gn,out}$ è la quantità di energia termica in uscita dal generatore a pompa di calore, senza tener conto del contributo dovuto al recupero di energia dissipata dalla pompa/ventilatore lato condensatore per vincere le perdite di carico dovute al solo circuito esterno al condensatore, [kWh];

$Q_{gn,L}$ è la perdita termica della pompa di calore comprensiva delle dissipazioni non recuperate dovute a pompe/ventilatori lato condensatore e lato evaporatore relative alle sole perdite di carico del fluido termovettore nel condensatore e nell'evaporatore, [kWh];

$Q_{gn,amb}$ è la quantità di energia termica in ingresso al generatore a pompa di calore, senza tener conto del contributo dovuto al recupero di energia dissipata dalla pompa/ventilatore lato evaporatore per vincere le perdite di carico dovute al solo circuito esterno all'evaporatore, [kWh];

$W_{gn,aux}$ è l'energia elettrica assorbita dagli ausiliari a bordo macchina necessaria per il funzionamento del ciclo termodinamico e di eventuali pompe/ventilatori al condensatore e all'evaporatore per la sola quota parte relativa a vincere le perdite di carico del fluido termovettore nel condensatore e nell'evaporatore, così come misurata nelle condizioni di test, [kWh];

con

$$Q_{gn,out} = Q_{GN,out} - k_{pe,c} \cdot W_{pe,c} \quad (11.190)$$

$$Q_{gn,amb} = Q_{GN,amb} + k_{pe,e} \cdot W_{pe,e} \quad (11.191)$$

$$Q_{gn,L} = Q_{GNL} - (1 - k_{pe,c}) \cdot W_{pe,c} - (1 - k_{pe,e}) \cdot W_{pe,e} \quad (11.192)$$

dove

$W_{pe,c}$ è l'energia elettrica assorbita dalla pompa o ventilatore lato condensatore per compensare le sole perdite di carico relative alla movimentazione del fluido termovettore nel circuito esterno al condensatore, [kWh].

$W_{pe,e}$ è l'energia elettrica assorbita dalla pompa o ventilatore lato evaporatore per compensare le sole perdite di carico relative alla movimentazione del fluido termovettore nel circuito esterno all'evaporatore, [kWh].

$k_{pe,c}$ è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dalla pompa o ventilatore lato condensatore, assunta pari a 0,8;

$k_{pe,e}$ è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dalla pompa o ventilatore lato evaporatore, assunta pari a 0,8.

Mentre dal bilancio energetico rispetto al confine più interno, sempre con riferimento alla Figura 11.10, il fabbisogno di energia del generatore a pompa di calore è dato da:

$$Q_{gn,in} = E_x = Q_h + Q_{Is} - Q_c - W_{aux,cyl} \quad (11.193)$$

dove:

$Q_{gn,in}=E_x$ è la quantità di energia chimica del combustibile, termica o elettrica in ingresso alla specifica pompa di calore impiegata, [kWh]; E vettore energetico di tipo x;

Q_h è l'energia scambiata al condensatore della pompa di calore, [kWh];

Q_{Is} è la perdita termica della pompa di calore a meno delle perdite delle pompe/ventilatori lato condensatore e evaporatore, [kWh];

Q_c è l'energia scambiata all'evaporatore della pompa di calore, [kWh];

$W_{aux,cyl}$ è l'energia elettrica assorbita dagli ausiliari a bordo macchina necessari per il funzionamento del ciclo termodinamico con esclusione degli eventuali pompe/ventilatori al condensatore e all'evaporatore, [kWh];

con

$$Q_h = Q_{gn,out} - k_{pi,c} \cdot W_{pi,c} \quad (11.194)$$

$$Q_c = Q_{gn,amb} + k_{pi,e} \cdot W_{pi,e} \quad (11.195)$$

$$Q_{Is} = Q_{gn,L} - (1 - k_{pi,c}) \cdot W_{pi,c} - (1 - k_{pi,e}) \cdot W_{pi,e} \quad (11.196)$$

dove

$W_{pi,c}$ è l'energia elettrica assorbita dalla pompa o ventilatore lato condensatore per compensare le sole perdite di carico relative alla movimentazione del fluido termovettore nel condensatore, [kWh].

$W_{pi,e}$ è l'energia elettrica assorbita dalla pompa o ventilatore lato evaporatore per compensare le sole perdite di carico relative alla movimentazione del fluido termovettore nell'evaporatore, [kWh].

$K_{pi,c}$ è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dalla pompa o ventilatore lato condensatore, assunta pari a 1 per consistenza con le norme di prodotto;

$K_{pi,e}$ è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dalla pompa o ventilatore lato evaporatore, assunta pari a 1 per consistenza con le norme di prodotto.

Gli assorbimenti elettrici degli ausiliari sono legati tra loro dalla seguente relazione:

$$W_{GN,aux} = W_{gn,aux} + W_{pe,e} + W_{pe,c} = (W_{aux,cyl} + W_{pi,e} + W_{pi,c}) + W_{pe,e} + W_{pe,c} \quad (11.197)$$

Il **coefficiente di prestazione medio** (cioè valutato su un predefinito intervallo di tempo) **effettivo** del generatore, COP_{GN} , è definito come il rapporto tra l'energia termica fornita e l'energia spesa nelle condizioni attuali; con riferimento al confine più esterno di Figura 11.10, questo è definito come:

$$COP_{GN} \equiv \frac{Q_{GN,out}}{E_x + W_{GN,aux}} \quad (11.198)$$

dove:

$Q_{GN,out}$ è la quantità di energia termica effettivamente fornita dal generatore a pompa di calore in condizioni attuali, [kWh];

E_x è la quantità di energia del vettore energetico E di tipo x richiesta in un dato intervallo di tempo in ingresso alla specifica pompa di calore impiegata, [kWh];

$W_{GN,aux}$ è l'energia elettrica assorbita dagli ausiliari a bordo macchina in condizioni di esercizio attuali, [kWh].

Tale definizione non è direttamente utile per il calcolo della prestazione della pompa di calore, in quanto, per motivi di verificabilità e unicità della stessa, la prestazione della macchina, per non dipendere dall'estensione e tipologia dei possibili circuiti del fluido termovettore lato condensatore e lato evaporatore, è per norma riferita al confine intermedio di Figura 11.10, cioè il **coefficiente di prestazione medio normalizzato** è definito come:

$$COP_{gn} \equiv \frac{Q_{gn,out}}{E_x + W_{gn,aux}} \quad (11.199)$$

dove:

$Q_{gn,out}$ è la quantità di energia termica in uscita dal generatore a pompa di calore, senza tener conto del contributo dovuto al recupero di energia dissipata dalla pompa/ventilatore lato condensatore per vincere le perdite di carico dovute al solo circuito esterno al condensatore, [kWh];

E_x è la quantità di energia del vettore energetico E di tipo x richiesta in un dato intervallo di tempo in ingresso alla specifica pompa di calore impiegata, [kWh];

$W_{gn,aux}$ è l'energia elettrica assorbita dagli ausiliari a bordo macchina necessaria per il funzionamento del ciclo termodinamico e di eventuali pompe/ventilatori al condensatore e all'evaporatore per la sola quota parte relativa a vincere le perdite di carico del fluido termovettore nel condensatore e nell'evaporatore, così come misurata nelle condizioni di test, [kWh].

Sia ai fini della determinazione dei vettori energetici richiesti dalla macchina, quando questa utilizza per sua alimentazione un vettore energetico diverso da quello elettrico (usato per gli ausiliari), sia per una più chiara corrispondenza con i coefficienti di prestazione dichiarati dal costruttore, COP_{dcl} , (definizioni diverse per tipologie diverse), conviene separare l'assorbimento elettrico degli ausiliari, pur in condizioni di riferimento, dalla richiesta di energia per il funzionamento del ciclo. Di conseguenza conviene riscrivere la (11.199) come:

$$COP_{gn} = \frac{Q_{gn,out}}{E_x + W_{gn,aux}} = \frac{1}{\frac{E_x}{Q_{gn,out}} + \frac{W_{gn,aux}}{Q_{gn,out}}} = \frac{1}{\frac{1}{COP_{net}} + \frac{1}{AEF}} \quad (11.200)$$

dove:

COP_{net} è il coefficiente di prestazione netto della pompa di calore, che tiene conto solo dell'energia e relativo vettore energetico principali necessari per il funzionamento del ciclo termodinamico, escludendo l'energia elettrica assorbita dagli ausiliari, [-];

AEF è il fattore energetico degli ausiliari della macchina, [-];

cioè

$$\text{COP}_{\text{net}} = \frac{Q_{\text{gn,out}}}{E_x} = \frac{Q_{\text{gn,out}}}{Q_{\text{gn,in}}} \quad (11.201)$$

$$\text{AEF} = \frac{Q_{\text{gn,out}}}{W_{\text{gn,aux}}} \quad (11.202)$$

Considerando il bilancio energetico al confine intermedio, equazione (11.189), l'energia termica fornita dalla pompa di calore può essere scritta come:

$$Q_{\text{gn,out}} = E_x + Q_{\text{gn,amb}} + W_{\text{gn,aux}} - Q_{\text{gn,L}} \quad (11.203)$$

Introducendo l'espressione per l'energia termica fornita data dalla (11.203) nella definizione del coefficiente di prestazione netto, si ha:

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{net}} &= \frac{Q_{\text{gn,out}}}{E_x} = \frac{E_x + Q_{\text{gn,amb}} + W_{\text{gn,aux}} - Q_{\text{gn,L}}}{E_x} = 1 + \frac{Q_{\text{gn,amb}}}{E_x} + \frac{W_{\text{gn,aux}}}{E_x} - \frac{Q_{\text{gn,L}}}{E_x} \\ &= 1 + \frac{Q_{\text{gn,amb}}}{E_x} + \alpha_{\text{aux}} - \beta_{\text{is}} \end{aligned} \quad (11.204)$$

$$\text{AEF} = \frac{Q_{\text{gn,out}}}{W_{\text{aux,ob}}} = \frac{Q_{\text{gn,out}}}{E_x} \cdot \frac{E_x}{W_{\text{gn,aux}}} = \frac{\text{COP}_{\text{net}}}{\alpha_{\text{aux}}} \quad (11.205)$$

dove

$\alpha_{\text{aux}} = \frac{W_{\text{gn,aux}}}{E_x}$ è il rapporto tra energia assorbita dagli ausiliari a bordo macchina così come misurata nelle condizioni di test e l'energia richiesta dal ciclo nelle stesse condizioni, [-];

$\beta_{\text{aux}} = \frac{Q_{\text{is}}}{E_x}$ è la perdita termica adimensionale della pompa di calore nelle condizioni di test, [-].

Il coefficiente di prestazione normalizzato della pompa di calore può allora essere riscritto come:

$$\text{COP}_{\text{gn}} = \frac{\text{COP}_{\text{net}}}{1 + \alpha_{\text{aux}}} \quad (11.206)$$

o, in alternativa, è possibile esprimere il coefficiente di prestazione netto e il fattore energetico degli ausiliari in funzione del COP normalizzato del generatore e del rapporto α_{aux} , cioè:

$$\text{COP}_{\text{net}} = \text{COP}_{\text{gn}} \cdot (1 + \alpha_{\text{aux}}) \quad (11.207)$$

$$\text{AEF} = \frac{Q_{\text{gn,out}}}{W_{\text{gn,aux}}} = \frac{1 + \alpha_{\text{aux}}}{\alpha_{\text{aux}}} \cdot \text{COP}_{\text{gn}} \quad (11.208)$$

Il fabbisogno del generico vettore energetico principale in ingresso al generatore a pompa di calore, nell'intervallo di tempo considerato, si ottiene quindi come:

$$Q_{\text{gn,in}} = E_x = \frac{Q_{\text{gn,out}}}{\text{COP}_{\text{net}}} = \frac{Q_{\text{gn,out}}}{\text{COP}_{\text{gn}} \cdot (1 + \alpha_{\text{aux}})} \quad (11.209)$$

mentre l'energia elettrica per gli ausiliari a bordo macchina, con esclusione dell'assorbimento elettrico dovuto alla movimentazione del fluido termovettore nei circuiti esterni al condensatore e all'evaporatore, è data da, come:

$$W_{gn,aux} = \frac{Q_{gn,out}}{AEF} = \frac{Q_{gn,out}}{COP_{gn} \cdot (1 + \alpha_{aux}) / \alpha_{aux}} \quad (11.210)$$

Per la determinazione dell'energia elettrica complessivamente assorbita dagli ausiliari con condizioni di funzionamento effettive, $W_{GN,aux}$, occorre aggiungere tramite la (11.197), a quanto determinato con l'equazione (11.210), l'energia elettrica assorbita dalle pompe/ventilatori per vincere le perdite di carico dei circuiti esterni al condensatore e all'evaporatore così come determinabili nelle condizioni di reale installazione, $W_{pe,c}$ e $W_{pe,e}$.

L'energia termica complessivamente fornita dalla pompa di calore, $Q_{GN,out}$, è infine calcolabile, nota l'energia elettrica assorbita dalla pompa/ventilatore per vincere le perdite di carico del circuiti esterno al condensatore, $W_{pe,c}$, tramite l'equazione (11.190).

11.8.8.1.1 Estensione del bilancio energetico a sistemi con recupero termico

I bilanci energetici desumibili dallo schema di Figura 11.10 sono relativi a pompe di calore che utilizzano il vettore energetico principale esclusivamente per azionare in modo diretto un ciclo termodinamico frigorifero che trasferisca energia dalla sorgente a temperatura più bassa, θ_c , al pozzo a temperatura più alta, θ_h . Esistono anche pompe di calore che azionano il ciclo in modo diretto o indiretto attraverso l'impiego di un combustibile e che poi recuperano energia termica contenuta nei gas di scarico, ed eventualmente nei fluidi di raffreddamento del motore termico, per accrescere la quantità e qualità dell'energia termica prodotta. In questo caso il bilancio energetico viene ulteriormente dettagliato esplicitando le due diverse componenti che costituiscono l'energia termica prodotta. Con riferimento alla Figura 11.11, il bilancio energetico relativo al confine più interno, esplicitato rispetto all'energia richiesta, diventa:

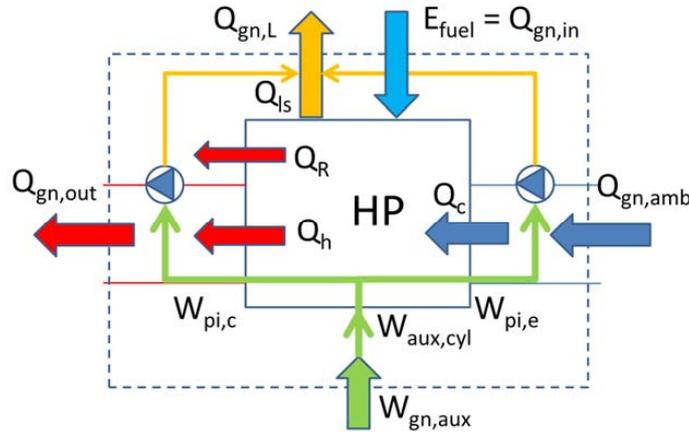


Figura 11.11 – Schema funzionale di pompa di calore con recupero di energia termica.

$$Q_{gn,in} = E_{fuel} = Q_h + Q_R + Q_{Is} - Q_c - W_{aux,cyl} \quad (11.211)$$

dove

$Q_{gn,in} = E_x$ è la quantità di energia chimica del combustibile in ingresso alla specifica pompa di calore impiegata, [kWh]; E vettore energetico di tipo x ;

Q_h è l'energia scambiata al condensatore della pompa di calore, [kWh];

Q_R è l'energia termica recuperata dai fumi e, eventualmente, dai fluidi di raffreddamento del motore termico, [kWh];

Q_{Is} è la perdita termica della pompa di calore a meno delle perdite delle pompe/ventilatori lato condensatore e evaporatore, [kWh];

Q_c è l'energia scambiata all'evaporatore della pompa di calore, [kWh];

$W_{aux,cyl}$ è l'energia elettrica assorbita dagli ausiliari a bordo macchina necessari per il funzionamento del ciclo termodinamico con esclusione degli eventuali pompe/ventilatori al condensatore e all'evaporatore, [kWh];

Come si può notare da Figura 11.11, dal punto di vista funzionale, non cambia nulla in termini di bilancio energetico definito sul confine tratteggiato, confine rispetto al quale si misurano le prestazioni dichiarate.

11.8.8.1.2 Quota di energia rinnovabile sfruttata

Analogamente la quantità di energia estratta dalla sorgente termica utilizzata è data da:

$$Q_{GN,amb} = Q_{gn,amb} - k_{pe,e} \cdot W_{pe,e} = \left[1 - \frac{1 + \alpha_{aux} - \beta_{Is}}{COP_{net}} \right] \cdot Q_{gn,out} - k_{pe,e} \cdot W_{pe,e} \quad (11.212)$$

o, anche

$$Q_{GN,amb} = Q_{gn,amb} - k_{pe,e} \cdot W_{pe,e} = \left[1 - \frac{1 + \alpha_{aux} - \beta_{Is}}{(1 + \alpha_{aux}) \cdot COP_{gn}} \right] \cdot Q_{gn,out} - k_{pe,e} \cdot W_{pe,e} \quad (11.213)$$

con

$$\beta_{ls} = \frac{Q_{gn,L}}{E_x} \cong \frac{Q_{fg}}{E_{fuel}} \quad (11.214)$$

dove, considerate trascurabili le perdite termiche attraverso l'involucro della macchina,:

Q_{fg} è la quantità di energia dispersa con i fumi in pompe di calore ad assorbimento/adsorbimento che bruciano direttamente combustibile, [kWh];

E_{fuel} è il vettore energetico combustibile utilizzato dalla pompa di calore per il suo funzionamento, [kWh].

Per pompe di calore a compressione di vapore azionate da motore elettrico, il coefficiente β_{ls} è, per le ipotesi fatte, identicamente nullo.

Se poi la sorgente termica è una sorgente di energia rinnovabile si ha:

$$E_{x,ren} \equiv Q_{amb} \quad (11.215)$$

dove:

$E_{x,ren}$ è la quantità di energia termica estratta dalla sorgente rinnovabile utilizzata, x, [kWh].

11.8.8.1.3 Specializzazione del coefficiente di prestazione

Il coefficiente di prestazione dichiarato dal costruttore, COP_{dcl} , spesso non corrisponde alla definizione generale data dalla (11.199), ma è specializzato in relazione alla tecnologia di pompa di calore considerata.

In particolare si definiscono per:

- pompa di calore a compressione di vapore azionata da motore elettrico

$$COP_{dcl} \Rightarrow COP_{el} \equiv Q_{gn,out} / (W_{gn,in} + W_{gn,aux}) \quad (11.216)$$

da cui, per le (11.200), (11.201) e (11.202)(11.305),:

$$COP_{net,el} = Q_{gn,out} / W_{gn,in} = COP_{cyl,vc} = COP_{el} \cdot (1 + \alpha_{aux}) \quad (11.217)$$

$$AEF_{el} = Q_{gn,out} / W_{gn,aux} = \frac{1 + \alpha_{aux}}{\alpha_{aux}} \cdot COP_{el} \quad (11.218)$$

dove:

$W_{gn,in}$ è l'energia elettrica fornita alla pompa di calore per il funzionamento del compressore, [kWh];

$W_{gn,aux}$ è l'energia elettrica assorbita dagli ausiliari a bordo macchina in condizioni di test (cioè senza gli assorbimenti elettrici dovuti alle perdite di carico nei circuiti esterni al condensatore e all'evaporatore), [kWh];

$COP_{cyl,vc}$ è il coefficiente di prestazione del ciclo termodinamico a compressione di vapore, [-];

- pompa di calore a compressione di vapore azionata da motore termico

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{dcl}} \Rightarrow \text{COP}_{\text{eng}} &\equiv \frac{Q_{\text{gn,out}}}{E_{\text{fuel}}} = \frac{Q_{\text{gn,out,c}}}{E_{\text{fuel}}} + \frac{Q_{\text{gn,out,R}}}{E_{\text{fuel}}} = \eta_{\text{eng}} \cdot \frac{Q_{\text{gn,out,c}}}{W_{\text{eng}}} + \eta_{\text{rec}} = \\ &= \eta_{\text{eng}} \cdot \text{COP}_{\text{cyl,vc}} + \eta_{\text{rec}} \end{aligned} \quad (11.219)$$

se il combustibile è gas

$$\text{COP}_{\text{dcl}} \Rightarrow \text{COP}_{\text{eng}} \equiv \frac{Q_{\text{gn,out}}}{E_{\text{gas}}} = \text{GUE}_{\text{eng}} = \eta_{\text{eng}} \cdot \text{COP}_{\text{cyl,vc}} + \eta_{\text{rec}} \quad (11.220)$$

da cui, per le (11.200), (11.201) e (11.202)(11.305),:

$$\left\{ \begin{aligned} \text{COP}_{\text{net,eng}} &= Q_{\text{gn,out}} / E_{\text{fuel}} = \text{COP}_{\text{eng}} \\ \text{COP}_{\text{net,eng}} &= Q_{\text{gn,out}} / E_{\text{gas}} = \text{GUE}_{\text{eng}} \end{aligned} \right. \quad (11.221)$$

$$\text{AEF}_{\text{eng}} = Q_{\text{gn,out}} / W_{\text{gn,aux}} \quad (11.222)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \text{COP}_{\text{gn,eng}} &= \frac{Q_{\text{gn,out}}}{E_{\text{fuel}} + W_{\text{gn,aux}}} = \frac{1}{1/\text{COP}_{\text{eng}} + 1/\text{AEF}} \\ \text{COP}_{\text{gn,eng}} &= \frac{Q_{\text{gn,out}}}{E_{\text{gas}} + W_{\text{gn,aux}}} = \frac{1}{1/\text{GUE}_{\text{eng}} + 1/\text{AEF}} \end{aligned} \right. \quad (11.223)$$

dove:

$Q_{\text{gn,out,c}}$ è quota parte attribuita al condensatore della quantità di energia termica in uscita dal generatore a pompa di calore, senza tener conto del contributo dovuto al recupero di energia dissipata dalla pompa/ventilatore lato condensatore per vincere le perdite di carico dovute al solo circuito esterno al condensatore, [kWh]; cioè:

$$Q_{\text{gn,out,c}} = Q_{\text{h}} + k_{\text{pi,c}} \cdot W_{\text{pi,c}} \cdot Q_{\text{h}} / (Q_{\text{h}} + Q_{\text{R}}) \quad (11.224)$$

$Q_{\text{gn,out,R}}$ è quota parte attribuita al recuperatore (se presente) della quantità di energia termica in uscita dal generatore a pompa di calore, senza tener conto del contributo dovuto al recupero di energia dissipata dalla pompa/ventilatore lato condensatore per vincere le perdite di carico dovute al solo circuito esterno al condensatore, [kWh]; cioè:

$$Q_{\text{gn,out,R}} = Q_{\text{R}} + k_{\text{pi,c}} \cdot W_{\text{pi,c}} \cdot Q_{\text{R}} / (Q_{\text{h}} + Q_{\text{R}}) \quad (11.225)$$

η_{eng} è il rendimento termomeccanico del motore a combustione che aziona la pompa di calore, [-];

η_{rec} è la frazione recuperata dai fumi e dai fluidi di raffreddamento del motore dell'energia del combustibile impiegato, [-];

E_{fuel} è il vettore energetico combustibile utilizzato dalla motore a combustione, [kWh];

W_{eng} è l'energia meccanica fornita dal motore termico al ciclo a compressione di vapore, [kWh];

$\text{COP}_{\text{cyl,vc}}$ è il coefficiente di prestazione del ciclo termodinamico a compressione di vapore, [-];

- pompa di calore ad assorbimento/adsorbimento alimentata da fluido termovettore

$$\text{COP}_{\text{dcl}} \Rightarrow \text{COP}_{\text{th}} = Q_{\text{gn,out}} / Q_{\text{gn,in}} = \text{COP}_{\text{cyl,as}} \quad (11.226)$$

$$\text{COP}_{\text{net,th}} = Q_{\text{gn,out}} / Q_{\text{gn,in}} = \text{COP}_{\text{th}} \quad (11.227)$$

$$AEF_{th} = Q_{gn,out} / W_{gn,aux} \quad (11.228)$$

$$COP_{gn,th} = \frac{Q_{gn,out}}{Q_{gn,in} + W_{gn,aux}} = \frac{1}{1/COP_{th} + 1/AEF} \quad (11.229)$$

dove:

$Q_{gn,in}$ è l'energia termica ad alta temperatura fornita alla pompa di calore per il suo funzionamento, [kWh]

$COP_{cyl,as}$ è il coefficiente di prestazione del ciclo termodinamico ad assorbimento/adsorbimento, [-];

- pompa di calore ad assorbimento/adsorbimento a fuoco diretto alimentata a gas, dove il coefficiente assume il nome di "gas utilization efficiency" (simbolo GUE):

$$COP_{dcl} \Rightarrow GUE \equiv \frac{Q_{gn,out}}{E_{gas}} = \frac{Q_{gn,out,c}}{E_{gas}} + \frac{Q_{gn,out,R}}{E_{gas}} = \eta_{comb} \cdot \frac{Q_{gn,out,c}}{Q_{gas}} + \eta_{rec} = \eta_{comb} \cdot COP_{cyl,as} + \eta_{rec} \quad (11.230)$$

$$COP_{net,GUE} = Q_{gn,out} / E_{gas} = GUE \quad (11.231)$$

$$AEF_{GUE} = Q_{gn,out} / W_{gn,aux} \quad (11.232)$$

$$COP_{gn,th} = \frac{Q_{gn,out}}{E_{gas} + W_{gn,aux}} = \frac{1}{1/GUE + 1/AEF} \quad (11.233)$$

dove:

E_{gas} è il vettore energetico gas utilizzato dalla pompa di calore per il suo funzionamento, [kWh];

$Q_{gn,out,c}$ è quota parte attribuita al condensatore della quantità di energia termica in uscita dal generatore a pompa di calore, senza tener conto del contributo dovuto al recupero di energia dissipata dalla pompa/ventilatore lato condensatore per vincere le perdite di carico dovute al solo circuito esterno al condensatore, [kWh]; equazione (11.224);

$Q_{gn,out,R}$ è quota parte attribuita al recuperatore (se presente) della quantità di energia termica in uscita dal generatore a pompa di calore, senza tener conto del contributo dovuto al recupero di energia dissipata dalla pompa/ventilatore lato condensatore per vincere le perdite di carico dovute al solo circuito esterno al condensatore, [kWh]; equazione (11.225);

η_{comb} è il rendimento del combustore che aziona la pompa di calore, [-];

η_{rec} è la frazione recuperata dai fumi dell'energia del combustibile impiegato, [-];

Q_{gas} è l'energia termica utile prodotta dal combustore e ceduta all'assorbitore, [kWh];

$COP_{cyl,as}$ è il coefficiente di prestazione del ciclo termodinamico ad assorbimento/adsorbimento, [-].

In generale, i quattro coefficienti dichiarati su riportati si possono raggruppare in due distinte famiglie in funzione del tipo di ciclo termodinamico utilizzato:

$$\left. \begin{array}{l} \text{COP}_{\text{el}} \\ \text{COP}_{\text{eng}} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{COP}_{\text{cyl,vc}} \quad (11.234)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{COP}_{\text{th}} \\ \text{GUE} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{COP}_{\text{cyl,as}} \quad (11.235)$$

dove:

$\text{COP}_{\text{cyl,vc}}$ è il coefficiente di prestazione del ciclo a compressione di vapore, [-];

$\text{COP}_{\text{cyl,as}}$ è il coefficiente di prestazione del ciclo ad assorbimento/adsorbimento, [-].

Il coefficiente di prestazione di una pompa di calore, COP, indipendentemente dalla sua specializzazione (dcl = el; eng; th, GUE), è in generale dipendente da diversi fattori, tra cui:

- la temperatura di evaporazione, quindi dalla temperatura della sorgente fredda (ambiente da cui si sottrae energia termica);
- la temperatura di condensazione, quindi dalla temperatura del pozzo caldo (ambiente a cui si fornisce energia termica a temperatura superiore a quella di prelievo);
- il fattore di carico utile a cui la macchina si trova a funzionare;

cioè

$$\text{COP}_{\text{dcl}} = f(\theta_c, \theta_h, \text{FC}) \quad (11.236)$$

dove:

θ_c è la temperatura della sorgente fredda, [°C];

θ_h è la temperatura del pozzo caldo, [°C];

FC è il fattore di carico utile con cui funziona la macchina in un determinato istante o intervallo di tempo [-], definito come:

$$\text{FC}(\theta_c, \theta_h) \equiv \frac{\Phi_{\text{gn,out}}(\theta_c, \theta_h)}{\Phi_{\text{gn,out,N}}(\theta_c, \theta_h)} \quad (11.237)$$

dove:

$\Phi_{\text{gn,out}}$ è la potenza termica effettivamente utile fornita dalla pompa di calore funzionante tra le temperature (θ_c, θ_h) , [W];

$\Phi_{\text{gn,out,N}}$ è la potenza termica utile nominale (massima) erogabile dalla pompa di calore operante tra le stesse temperature (θ_c, θ_h) , [W].

Si considera infine disaccoppiabile l'effetto delle temperature di sorgente fredda e pozzo caldo da quello del fattore di carico, assumendo che il coefficiente di prestazione sia calcolabile come:

$$\text{COP}_{\text{dcl}} = \text{COP}_{\text{N}}(\theta_c, \theta_h) \cdot f_{\text{COP}}(\text{FC}) \quad (11.238)$$

dove:

COP_{N} è il coefficiente di prestazione in condizioni nominali (potenza erogata massima) dalla pompa di calore funzionante tra le temperature (θ_c, θ_h) , [-];

f_{COP} è il fattore di correzione del COP_{N} che tiene conto della variazione del COP al variare del fattore di carico utile FC, [-].

Per i tre casi in cui il coefficiente di prestazione dichiarato non tiene conto dell'energia assorbita dagli ausiliari (dcl = eng; th, GUE), occorre disporre anche del fattore energetico degli ausiliari, AEF_{dcl} , in funzione delle variabili che ne condizionano il valore. Tale fattore può considerarsi dipendente dal solo fattore di carico utile, FC, cioè:

$$AEF_{dcl} = AEF_N \cdot f_{AEF}(FC) \quad (11.239)$$

dove:

AEF_N è il fattore energetico degli ausiliari in condizioni nominali (potenza erogata massima) della pompa di calore [-];

f_{AEF} è il fattore di correzione dell' AEF_N che tiene conto della variazione del AEF al variare del fattore di carico utile FC, [-].

I costruttori devono quindi fornire un insieme di coefficienti di prestazione nominali per diverse condizioni normate di funzionamento per poter valutare correttamente la prestazione a pieno carico con diversi valori delle temperature della sorgente fredda e del pozzo caldo. Possono inoltre fornire direttamente il fattore di correzione del COP_N (o altro parametro ad esso correlato) e dell' AEF_N a diverse condizioni di carico.

In particolare, nel Prospetto 11.XLV sono riportate le condizioni di riferimento per i dati prestazionali forniti dal fabbricante per le pompe di calore per solo riscaldamento o funzionamento combinato; mentre nel Prospetto 11.XLVI quelle per le pompe di calore per sola produzione acqua calda sanitaria.

| Sorgente fredda | Temperatura sorgente fredda [°C] | | | | Temperatura pozzo caldo riscaldamento ad aria ¹⁾ [°C] | Temperatura pozzo caldo riscaldamento idronico ²⁾ [°C] | | | Temperatura pozzo caldo produzione acs ³⁾ [°C] | |
|-----------------|----------------------------------|---|----|----|--|---|----|----|---|----|
| | A | B | C | D | θ_h | θ_h | | | θ_h | |
| Aria | -7 | 2 | 7 | 12 | 20 | 35 | 45 | 55 | 45 | 55 |
| Acqua | - | 5 | 10 | 15 | 20 | 35 | 45 | 55 | 45 | 55 |
| Terreno/roccia | -5 | 0 | 5 | 10 | 20 | 35 | 45 | 55 | 45 | 55 |

1) Temperatura di ripresa.
 2) Per almeno una delle temperature indicate. Altri dati suggeriti: 25°C, 65°C.
 3) Per almeno una delle temperature indicate.

**Prospetto 11.XLV – Condizioni di riferimento per i dati prestazionali forniti dal fabbricante.
 Pompe di calore per solo riscaldamento o funzionamento combinato
 (Fonte: UNI TS 11300-4:2012)**

| Pompa di calore | Temperatura sorgente fredda (aria) | | | | Temperatura pozzo caldo produzione acs ¹⁾ |
|---------------------|------------------------------------|----|----|----|--|
| | A | B | C | D | θ_h |
| Sola produzione ACS | 7 | 15 | 20 | 35 | 55 |

1) Per almeno una delle temperature indicate. Altri dati suggeriti: 45°C, 65°C.

**Prospetto 11.XLVI – Condizioni di riferimento per i dati prestazionali forniti dal fabbricante.
 Pompe di calore per sola produzione acqua calda sanitaria
 (Fonte: UNI TS 11300-4:2012)**