

Prestazioni energetiche degli edifici

Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

Energy performance of buildings

Part 4: Renewable energy and other generation systems for space heating and domestic hot water production

ORGANO COMPETENTE CTI - Comitato Termotecnico Italiano

CO-AUTORE

SOMMARIO

La presente specifica tecnica si applica ai sottosistemi di generazione che forniscono energia termica utile da energie rinnovabili o con metodi di generazione diversi dalla combustione a fiamma di combustibili fossili trattata nella UNI/TS 11300-2.

Si considerano le seguenti sorgenti di energie rinnovabili per produzione di energia termica utile:

- solare termico;
- combustione di biomasse;
- fonti aerauliche, geotermiche e idrauliche nel caso di pompe di calore per la quota considerata rinnovabile;
- e per la produzione di energia elettrica:
- solare fotovoltaico.

La presente specifica tecnica può essere utilizzata per i seguenti scopi:

- valutare il rispetto di regolamenti espressi in termini di obiettivi energetici;
- confrontare le prestazioni energetiche di varie alternative impiantistiche;
- indicare un livello convenzionale di prestazione energetica in termini di consumo di energia primaria degli edifici esistenti;
- valutare il risparmio di energia conseguibile con interventi sugli impianti;
- valutare il risparmio di energia primaria utilizzando energie rinnovabili o altri metodi di generazione;
- prevedere le esigenze future di risorse energetiche su scala nazionale calcolando i fabbisogni di energia primaria di tipici edifici rappresentativi del parco edilizio.

Questo testo NON è una norma UNI, ma è un progetto di norma sottoposto alla fase di inchiesta pubblica, da utilizzare solo ed esclusivamente per fini informativi e per la formulazione di commenti. Il processo di elaborazione delle norme UNI prevede che i progetti vengano sottoposti all'inchiesta pubblica per raccogliere i commenti degli operatori: la norma UNI definitiva potrebbe quindi presentare differenze -anche sostanziali- rispetto al documento messo in inchiesta.

Questo documento perde qualsiasi valore al termine dell'inchiesta pubblica, cioè il 23-09-11

UNI non è responsabile delle conseguenze che possono derivare dall'uso improprio del testo dei progetti in inchiesta pubblica.

RELAZIONI
NAZIONALI

RELAZIONI
INTERN.LI

PREMESSA La presente norma è stata elaborata sotto la competenza dell'ente federato all'UNI@
CTI - Comitato Termotecnico Italiano@
@
La Commissione Centrale Tecnica dell'UNI ha dato la sua approvazione il giorno mese anno. @
@



Premessa

La determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici richiede metodi di calcolo per:

- 1) Il fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento ambiente;
- 2) Il fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria;
- 3) Il rendimento e il fabbisogno di energia primaria degli impianti di climatizzazione invernale;
- 4) Il rendimento e il fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria;
- 5) Il risparmio di energia primaria utilizzando energie rinnovabili ed altri metodi di generazione per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria;
- 6) Il rendimento e il fabbisogno di energia primaria degli impianti di climatizzazione estiva.

I suddetti metodi di calcolo sono descritti nelle seguenti specifiche tecniche :

UNI/TS 11300-1	Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
UNI/TS 11300-2	Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria
UNI/TS 11300-3	Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva
UNI/TS 11300-4	Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

Il documento è in accordo con le norme elaborate dal CEN nell’ambito del mandato M/343 a supporto della Direttiva Europea 2002/91/CE sulle prestazioni energetiche degli edifici.



1 Scopo e campo di applicazione

La presente specifica tecnica si applica ai sottosistemi di generazione che forniscono energia termica utile da energie rinnovabili o con metodi di generazione diversi dalla combustione a fiamma di combustibili fossili trattata nella UNI/TS 11300-2:2008.

Si considerano le seguenti sorgenti di energie rinnovabili per produzione di energia termica utile:

- solare termico;
- combustione di biomasse;
- fonti aerauliche, geotermiche e idrauliche nel caso di pompe di calore per la quota considerata rinnovabile;

e per la produzione di energia elettrica:

- solare fotovoltaico.

Per quanto riguarda la generazione con processi diversi dalla combustione a fiamma si considerano:

- sistemi che convertono l'energia chimica di combustibili fossili per produzione combinata di energia elettrica ed energia termica (cogenerazione);
- sistemi che riqualificano energia termica a bassa temperatura in energia termica a più elevata temperatura mediante cicli termodinamici alimentati da energia elettrica, da combustibili fossili o da energia termica (pompe di calore);
- sistemi che impiegano energia termica utile derivante da generazione remota (teleriscaldamento).

Nel caso di sistemi di teleriscaldamento la presente specifica tecnica non considera i sistemi di generazione remota, ma solo l'energia termica consegnata all'impianto e l'energia primaria equivalente.

In relazione all'utilizzo a diversi vettori energetici e modi di generazione la presente specifica tecnica considera:

- 1) sistemi monovalenti e monoenergetici nei quali la produzione di energia termica utile è ottenuta con unico vettore energetico utilizzato con un solo metodo di generazione;
- 2) sistemi polivalenti monoenergetici quelli che utilizzano un unico vettore energetico con diversi metodi di generazione;
- 3) sistemi polivalenti e plurienergetici che utilizzano due o più vettori energetici con diversi metodi di generazione.

La presente specifica tecnica può essere utilizzata per i seguenti scopi:

- valutare il rispetto di regolamenti espressi in termini di obiettivi energetici;
- confrontare le prestazioni energetiche di varie alternative impiantistiche;
- indicare un livello convenzionale di prestazione energetica in termini di consumo di energia primaria degli edifici esistenti;
- valutare il risparmio di energia conseguibile con interventi sugli impianti;
- valutare il risparmio di energia primaria utilizzando energie rinnovabili o altri metodi di generazione;
- prevedere le esigenze future di risorse energetiche su scala nazionale calcolando i fabbisogni di energia primaria di tipici edifici rappresentativi del parco edilizio.



La presente specifica si applica a sistemi di nuova progettazione, ristrutturati o esistenti:

- per la sola climatizzazione invernale- misti o combinati per la climatizzazione invernale e la produzione acqua calda sanitaria;
- per sola produzione acqua calda sanitaria;
- per la quota di energia termica richiesta dai sistemi di climatizzazione estiva (post-riscaldamento e energia termica utile fornita a generatori frigoriferi ad assorbimento).

Le suddette applicazioni trovano riscontro in diversi tipi di valutazione energetica come di seguito classificati:

A) valutazione di calcolo: prevede il calcolo del fabbisogno energetico e si differenzia in:

- A1) valutazione di progetto: il calcolo è effettuato sulla base dei dati di progetto; per le modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio e dell'impianto si assumono valori convenzionali di riferimento;
- A2) valutazione standard: il calcolo viene effettuato sulla base dei dati relativi all'edificio e all'impianto reale, come costruito; per le modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio e dell'impianto si assumono valori convenzionali di riferimento;
- A3) valutazione in condizioni effettive di utilizzo: il calcolo viene effettuato sulla base dei dati relativi all'edificio e all'impianto reale, come costruito; per le modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio e dell'impianto si assumono valori effettivi di funzionamento (per esempio, in caso di diagnosi energetiche);

La valutazione di calcolo può essere validata mediante una valutazione di esercizio, ossia con un confronto con i consumi energetici effettivi per climatizzazione invernale e produzione di acqua calda sanitaria. Ai fini di diagnosi energetica si può procedere con la valutazione A3) integrata con il suddetto rilievo.

La valutazione di tipo B, non è trattata nella presente specifica tecnica.

2 Riferimenti normativi

La presente specifica tecnica rimanda, mediante riferimenti datati e non, a disposizioni contenute in altre pubblicazioni. Tali riferimenti normativi sono citati nei punti appropriati del testo e sono di seguito elencati. Per quanto riguarda i riferimenti datati, successive modifiche o revisioni apportate a dette pubblicazioni valgono unicamente se introdotte nella presente specifica tecnica come aggiornamento o revisione. Per i riferimenti non datati vale l'ultima edizione della pubblicazione alla quale si fa riferimento (compresi gli aggiornamenti).

UNI 10349	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici
UNI/TS 11300-1	Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
UNI/TS 11300-2:2008	Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria
UNI/TS 11300-3	Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione



UNI/TR 11328-1	Energia solare - Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia - Parte 1: Valutazione dell'energia raggiante ricevuta
UNI EN 303-5	Caldaie per riscaldamento - Caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale e automatica, con una potenza termica nominale fino a 300 kW - Parte 5: Terminologia, requisiti, prove e marcatura
UNI EN 12309- 2	Apparecchi di climatizzazione e/o pompe di calore ad assorbimento e adsorbimento, funzionanti a gas, con portata termica nominale non maggiore di 70 kW - Utilizzazione razionale dell'energia
UNI EN 12815	Termocucine a combustibile solido - Requisiti e metodi di prova
UNI EN 12976 -1	Impianti solari termici e loro componenti - Impianti prefabbricati - Parte 1: Requisiti generali
UNI EN 12976 -2	Impianti solari termici e loro componenti - Impianti prefabbricati - Parte 2: Metodi di prova
UNI EN 13229	Inseriti e caminetti aperti alimentati a combustibile solido - Requisiti e metodi di prova
UNI EN 13240	Stufe a combustibile solido - Requisiti e metodi di prova
UNI EN 14511-4	Condizionatori, refrigeratori di liquido e pompe di calore con compressore elettrico per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti - Parte 4: Requisiti
UNI EN 14785	Apparecchi per il riscaldamento domestico alimentati con pellet di legno - Requisiti e metodi di prova
UNI EN 15316-4-3	Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Parte 4-3: Sistemi di generazione del calore, sistemi solari termici
UNI EN 15316-4-6	Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Parte 4-6: Sistemi di generazione del calore, sistemi fotovoltaici
UNI EN 15316-4-7	Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Parte 4-7: Sistemi di generazione per il riscaldamento degli ambienti, sistemi di combustione a biomassa
UNI EN 15603	Prestazione energetica degli edifici - Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica
prEN 14825:2010	Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling - Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance



UNI CEN/TS 12977-1 Impianti solari termici e loro componenti - Impianti assemblati su specifica - Parte 1: Requisiti generali per collettori solari ad acqua e sistemi combinati

UNI CEN/TS 12977-2 Impianti solari termici e loro componenti - Impianti assemblati su specifica - Parte 2: Metodi di prova per collettori solari ad acqua e sistemi combinati

3 Definizioni

Ai fini della presente specifica tecnica, si utilizzano i termini e le definizioni di cui alle UNI/TS 11300-1 e UNI/TS 11300-2:2008 unitamente ai termini e alle definizioni seguenti.

- 3.1 ausiliari esterni:** Dispositivi ausiliari elettrici esterni alla pompa di calore non compresi nel COP dichiarato.
- 3.2 ausiliari interni:** Ausiliari elettrici montati a bordo della pompa di calore il cui consumo energetico è compreso nel COP dichiarato.
- 3.3 carico parziale:** Condizione di funzionamento in cui l'unità di cogenerazione funziona ad un carico minore di quello nominale.
- 3.4 carico termico unitario:** Condizione di funzionamento nella quale la potenza erogata è pari a quella nominale ossia funzionamento a pieno carico.
- 3.5 circuito del collettore solare:** Circuito comprendente collettori, pompa o ventilatore, tubazioni e scambiatore di calore (ove presente), utilizzato per trasportare calore dai collettori al dispositivo di accumulo.
- 3.6 coefficiente correttivo del COP:** COP ad un determinato valore di fattore di carico CR diviso per il COP della pompa di calore alla potenza termica dichiarata, riferiti alle stesse temperature di esercizio.
- 3.7 coefficiente di prestazione teorico:** Coefficiente di prestazione determinato in base alle temperature della sorgente fredda e del pozzo caldo secondo il ciclo di Carnot.
- 3.8 coefficiente di prestazione (COP per le macchine elettriche e GUE per le macchine ad assorbimento a fuoco diretto):** Rapporto tra la potenza termica fornita e la corrispondente potenza elettrica o termica assorbita.
- 3.9 coefficiente di prestazione calcolato:** Coefficiente di prestazione determinato mediante calcolo partendo da prestazioni di prova.
- 3.10 coefficiente di prestazione effettivo istantaneo:** Coefficiente di prestazione determinato mediante prova in condizioni normalizzate per una determinata condizione di funzionamento.
- 3.11 coefficiente di prestazione effettivo:** Coefficiente di prestazione determinato in base a prova eseguita con una prescritta norma tecnica.
- 3.12 coefficiente di prestazione in un periodo di calcolo:** Rapporto tra l'energia termica utile fornita in un intervallo di tempo (mese, intorno di calcolo) nel quale sia definita sia la temperatura media della sorgente fredda sia la temperatura media di utilizzazione e la corrispondente energia primaria richiesta.



- 3.13 cogenerazione:** Produzione e utilizzo simultanei di energia meccanica o elettrica e di energia termica a partire da combustibili primari, nei rispetto di determinati criteri qualitativi di efficienza energetica.
- 3.14 collettore solare:** Dispositivo concepito per assorbire la radiazione solare e per trasferire l'energia termica così prodotta a un fluido che lo attraversa.
- 3.15 energia ausiliaria:** Energia elettrica consumata da circolatori, ventilatori e dispositivi di regolazione in un impianto di riscaldamento a energia solare.
- Nota Questa parte di energia comprende energia per ventilatori, circolatori, regolatori, ecc. L'energia elettrica necessaria al sistema di ventilazione ed il relativo recupero di calore non viene considerata come energia ausiliaria bensì come energia necessaria alla ventilazione.
- 3.16 energia elettrica ausiliaria:** Energia elettrica richiesta dai dispositivi ausiliari del sottosistema di cogenerazione (pompe, ventilatori, ecc.) ad eccezione dell'energia ausiliaria richiesta per il trasporto dell'energia termica cogenerata al di fuori dei limiti di batteria.
- 3.17 energia rinnovabile:** Energia da fonti non fossili (biomasse), vento, sole, geotermica, aerotermica, idrotermica e moto ondoso, idroelettrica, biogas da discarica, biogas da depurazione e i biogas.
- 3.18 energia termica dissipata:** Energia termica eccedente il fabbisogno dell'utenza che non può essere accumulata e quindi viene dispersa assicurando comunque la produzione di energia elettrica.
- 3.19 energia termica utile di una sezione cogenerativa:** Quantità di energia termica utile prodotta nell'intervallo di tempo considerato (anno, mese, giorno).
- 3.20 fattore di carico della pompa di calore (capacity ratio, CR):** Potenza termica richiesta alla pompa di calore nelle specifiche condizioni di esercizio diviso la potenza termica dichiarata, riferita alle stesse temperature di esercizio.
- 3.21 fattore di carico termico:** Fattore di carico identificante un determinato punto di funzionamento di un'unità di cogenerazione modulante, caratterizzato dal rapporto tra la potenza termica in uscita a carico parziale e la potenza termica nominale ($FC_{\text{term}} = \phi_{\text{ter},x} / \phi_{\text{ter,nom}}$).
- 3.22 fluido termovettore caldo:** Fluido che trasferisce l'energia estratta e riqualficata a temperatura più elevata dalla pompa di calore agli ambienti climatizzati o all'acqua calda sanitaria (aria, acqua).
- 3.23 fluido termovettore freddo:** Fluido che trasferisce l'energia termica estratta dalla sorgente fredda alla pompa di calore (aria, acqua, miscela acqua e fluido anticongelante).
- 3.24 fonte di energia aerotermica:** Energia termica posseduta dall'aria ambiente ed estraibile sotto forma di calore.
- 3.25 fonte di energia geotermica:** Energia termica posseduta dal sottosuolo ed estraibile sotto forma di calore.
- 3.26 fonte di energia idrotermica:** Energia termica posseduta dalle acque superficiali ed estraibile sotto forma di calore.
- 3.27 frazione solare:** Energia fornita dalla parte solare di un impianto divisa per il fabbisogno totale dell'impianto.



- 3.28 generatore per integrazione (back up):** Generatore di calore non cogenerativo destinato ad integrare la potenza termica della sezione cogenerativa quando questa, per qualsiasi motivo, non riesce a soddisfare in tutto o in parte la potenza termica richiesta in ingresso al sottosistema di distribuzione.
- 3.29 generatori preferenziali:** Generatori in sistemi polivalenti destinati ad operare prioritariamente.
- 3.30 impianto a energia solare con fonte ausiliaria:** Impianto di riscaldamento a energia solare che utilizza in modo integrato le sorgenti di energia solare e ausiliaria ed è in grado di fornire il servizio di riscaldamento richiesto, indipendentemente dalla disponibilità di energia solare.
- 3.31 impianto a sola energia solare:** Impianto di riscaldamento a energia solare, senza sorgente di calore ausiliaria.
- 3.32 impianto a solare termico a circolazione naturale:** Impianto che utilizza unicamente la differenza di densità del fluido termovettore, per farlo circolare fra il collettore e il dispositivo di accumulo o fra il collettore e lo scambiatore di calore.
- 3.33 impianto di preriscaldamento a energia solare:** Impianto di riscaldamento a energia solare che preriscalda l'acqua prima del suo ingresso in un altro tipo di impianto di riscaldamento dell'acqua.
- 3.34 impianto di riscaldamento ad energia solare per riscaldamento ambienti:** Impianto di riscaldamento ad energia solare che fornisce energia per il riscaldamento degli ambienti.
- 3.35 impianto solare termico a circolazione forzata:** Impianto che utilizza una pompa o un ventilatore, per far circolare il fluido termovettore attraverso il collettore o i collettori.
- 3.36 impianto solare termico combinato:** Impianto atto a fornire energia sia per riscaldamento ambienti sia per la produzione di acqua calda sanitaria.
- 3.37 impianto solare termico per produzione di acqua calda sanitaria:** Impianto atto a fornire energia solo per la produzione di acqua calda sanitaria.
- 3.38 intervallo di calcolo:** Periodo di tempo nel quale viene effettuato il calcolo del fabbisogno di energia.
- 3.39 intorno di calcolo (bin):** Intervallo temporale minimo durante il quale le temperature medie della sorgente fredda e della rete di utilizzo possono essere considerate contestualmente costanti.
- 3.40 potenza elettrica netta:** Potenza elettrica diminuita di tutti gli assorbimenti degli ausiliari.
- 3.41 potenza termica dichiarata (declared capacity, DC):** Potenza termica massima (capacity) della pompa di calore nelle condizioni di funzionamento specificate dal costruttore.
- 3.42 potenza termica immessa:** Potenza chimica immessa con il combustibile nell'unità di cogenerazione; essa è il prodotto della portata volumetrica per il potere calorifico inferiore per i combustibili gassosi in condizioni nominali e la portata massica per il potere calorifico inferiore a $t=20^{\circ}\text{C}$ e pressione di 1 atm (1013,25 mbar) per i combustibili liquidi.
- 3.43 pozzo caldo:** Aria dell'ambiente climatizzato o acqua calda sanitaria, nel caso di condensatore ad espansione diretta, ovvero fluido termovettore caldo che riceve l'energia termica valorizzata dalla pompa di calore.



- 3.44 regolazione ad inseguimento termico:** Modalità di esercizio nella quale l'unità di cogenerazione è regolata in base al carico termico richiesto senza dissipazione di calore.
- 3.45 rendimento del collettore solare con perdite nulle, η_0 :** Efficienza del collettore quando la temperatura media o la temperatura di ingresso del fluido (a seconda dell'equazione del collettore scelta) è uguale alla temperatura ambiente.
- 3.46 rendimento elettrico:** Produzione di energia elettrica netta in in determinato intervallo di calcolo (anno, mese, giorno) divisa per l'energia termica immessa con il combustibile nello stesso intervallo di calcolo.
- 3.47 rendimento termico:** Produzione di energia termica netta in in determinato intervallo di calcolo (anno, mese, giorno) divisa per l'energia termica immessa con il combustibile nello stesso intervallo di calcolo.
- 3.48 rete di distribuzione:** Rete dell'impianto termico nella quale viene immessa l'energia termica utile prodotta dalla pompa di calore.
- 3.49 riscaldatore ausiliario:** Dispositivo o apparecchiatura che fornisce calore ottenuto a partire da combustibile o da energia elettrica.
- 3.50 sezione cogenerativa con unico generatore:** Sottosistema costituito da un unico apparecchio in grado di operare in assetto cogenerativo.
- 3.51 sezione cogenerativa costituita da più unità in cascata:** Sottosistema multiplo costituito da più unità di cogenerazione collegate allo stesso circuito idraulico e provviste di regolazione di cascata comune, che ripartisce il carico con priorità e ottimizza il funzionamento globale dell'intera sezione.
- 3.52 sistema cogenerativo integrato nell'edificio:** Sistema installato nell'edificio per produrre energia termica per climatizzazione e/o produzione di acqua calda sanitaria nel quale l'energia elettrica prodotta viene immessa in rete o autoconsumata.
- 3.53 sistema di accumulo termico inerziale:** Insieme di uno o più serbatoi coibentati contenenti il fluido circolante nell'impianto ed eventualmente panetti contenenti sali eutettici per migliorare la densità energetica stoccabile.
- 3.54 sistema di prelievo del calore dal pozzo freddo:** Sistema comprendente i circuiti e le relative superfici di captazione del calore e i dispositivi necessari per la circolazione del fluido termovettore quali pompe e/o ventilatori.
- 3.55 sistema:** Impianto per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione o la produzione di acqua calda sanitaria costituito da sottosistemi.
- 3.56 sorgente di calore ausiliaria:** Sorgente di calore, non solare, utilizzata per integrare il calore fornito dall'impianto solare termico.
- Nota Nella UNI EN 15316-4-3 tale sorgente di calore viene definita come "the back-up energy". Tale definizione è valida anche per le altre tipologie di impianti (pompe di calore, cogenerazione, ecc.)
- 3.57 sorgente fredda:** Fonte di energia rinnovabile o non rinnovabile, nel caso di evaporatore ad espansione diretta, ovvero fluido termovettore freddo, in tutti gli altri casi, da cui la pompa di calore estrae energia termica a bassa temperatura per incrementarne il livello termico e cederla poi ad un fluido termovettore a più elevata temperatura.



- 3.58 sottosistema di generazione monoenergetico:** Sottosistema che utilizza in uno o più generatori di calore un solo vettore energetico.
- 3.59 sottosistema di generazione monovalente:** Sottosistema con uno o più generatori di calore tutti con identico metodo di generazione.
- 3.60 sottosistema di generazione plurienergetico:** Sottosistema che utilizza in uno o più generatori di calore vettori energetici diversi.
- 3.61 sottosistema di generazione polivalente:** Sottosistema con più generatori di calore con diversi metodi di generazione.
- 3.62 sottosistema di produzione solare:** Insieme di componenti assemblati in fabbrica o in loco per captare energia solare e trasferirla all'impianto.
- 3.63 sottosistema:** Parte di impianto adibito ad una determinata funzione (per esempio: sottosistema di generazione del calore, sottosistema di distribuzione, sottosistema di emissione, ecc.)
- 3.64 sottostazione di scambio termico:** Elemento di collegamento tra la rete di distribuzione (circuito primario) e l'utenza (circuito secondario). La sottostazione può essere:
- a sistema diretto nel caso non vi sia separazione idraulica tra circuito primaria e secondario;
 - a sistema indiretto nel caso in cui il collegamento tra primario e secondario preveda uno o più scambiatori di calore a superficie.
- 3.65 superficie di apertura:** Massima superficie proiettata attraverso la quale la radiazione solare non concentrata entra nel collettore.
- 3.66 teleriscaldamento:** Sistema di distribuzione di energia termica in forma di vapore, acqua calda o liquidi refrigerati da una o più fonti di produzione verso una pluralità di edifici o siti tramite una rete, per la climatizzazione invernale e/o estiva di spazi, produzione di acqua calda sanitaria e/o uso in processo di lavorazione.
- 3.67 temperatura limite di utilizzo:** Temperatura massima, dichiarata dal costruttore, di uscita del fluido termovettore verso la rete di utilizzo definita in base alle caratteristiche della pompa di calore.
- 3.68 temperatura minima della sorgente fredda:** Temperatura minima della sorgente fredda, dichiarata dal costruttore, riferita al solo circuito refrigerante alla quale la pompa di calore può funzionare.
- 3.69 unità di cogenerazione:** Unità per produzione di energia elettrica e termica mediante cogenerazione.
- 3.70 unità di microcogenerazione:** Unità di cogenerazione con potenza elettrica nominale minore di 50 kW.
- 3.71 unità di piccola cogenerazione:** Unità di cogenerazione con potenza elettrica nominale minore di 1 MW.



4 Simboli e unità di misura

Ai fini della presente specifica tecnica si utilizzano i simboli e le unità di misura seguenti. Per simboli utilizzati solo in qualche caso particolare, fare riferimento alle indicazioni fornite con le singole formule.

prospetto 1 - Simboli e unità di misura

Simbolo	Grandezza	Unità di misura
A	Superficie di apertura del circuito collettore	m^2
A_C^*	Superficie di apertura effettiva del circuito del collettore	m^2
α_1	Coefficiente di prim'ordine di interpolazione dell'efficienza	$W/(m^2 \times K)$
α_2	Coefficiente di secondo ordine di interpolazione dell'efficienza	$W/(m^2 \times K^2)$
α, b, c, d, e, f	Coefficienti di correlazione	-
E	Irradiazione su di una superficie inclinata	kWh/m^2
C_S	Capacità termica dell'accumulo	MJ/K
f_{sol}	Frazione solare o percentuale del fabbisogno termico mensile coperto dall'impianto di riscaldamento ad energia solare	%
f_{aux}	Parte della capacità dell'accumulo utilizzato dalla sorgente di calore ausiliaria (integrazione)	-
f_{st}	Coefficiente di correzione per le dimensioni dell'accumulo	-
G_{month} G_{annual}	Valore medio dell'irradianza solare sul piano del collettore durante il periodo temporale considerato (mese o anno)	W/m^2
I	Irradianza solare sul piano del collettore	W/m^2
IAM	Modificatore dell'angolo di incidenza	-
P	Potenza	kW
Q	Quantità di calore, energia	kWh
S	Risparmio	
T	Tempo, periodo di tempo	h
U	Coefficiente di perdita di energia del circuito del collettore solare (legata alla superficie di apertura del collettore solare)	$W/(m^2 \times K)$
U_C^*	Coefficiente di perdita di energia effettiva del circuito del collettore solare (legata alla superficie effettiva del collettore solare)	$W/(m^2 \times K)$
V	Volume	L
X, Y	Fattori adimensionali	-
ΔT	Differenza di temperatura di riferimento	K
θ_a	Temperatura media dell'ambiente nel periodo considerato	$^{\circ}C$
θ_{cw}	Temperatura dell'acqua	$^{\circ}C$
θ_e	Temperatura media dell'ambiente esterno nel periodo considerato	$^{\circ}C$
H	Efficienza, rendimento	-



G	Giorno	giorno
H	Ora	h
Φ	Potenza termica	W
W	Potenza elettrica	W
M	Massa	kg
Θ	Temperatura	°C, K
FC_{ter}	Fattore di carico termico	%
FC_{el}	Fattore di carico elettrico	%
A	Indice di congruità dell'accumulo	-

prospetto 2 – Pedici

0	Base	m	Mensile
a	Aria	max	Massimo
an	Annuale	min	Minimo
ass	Sistema di refrigerazione ad assorbimento	nom	Nominale
aux	Ausiliario	npref	Non preferenziale
avg	Medio	nrbl	Non recuperabile
bu	Back-up (ausiliario)	nrvd	Non recuperato
chp	Cogenerazione	out	In uscita dall'impianto
corr	Corretto	p	Energia primaria
cw	Acqua fredda	P	Circolatore
d	Distribuzione	par	Indicatore di prestazione (Q_{par})
el	Elettricità	rbl	Recuperabile
exp	Esportata	ref	Riferimento
gn	Generazione	rvd	Recuperato
H	Riscaldamento ambienti	set point	Set point
HR	Calore per sistema ad assorbimento	sol	Solare
H, W	Combinato	st	Accumulo-stoccaggio
in	In ingresso all'impianto	ter	Termico
int	Interno	tot	Totale
loop	Circuito del collettore	us	Uso
l	Perdite	W	Acqua calda sanitaria
lrh	Perdite recuperate	ll	Di secondo principio



5 Principi generali per il calcolo

5.1 Usi energetici

I seguenti punti costituiscono una linea guida per l'applicazione nazionale della UNI EN 15603 e definiscono il quadro generale per l'utilizzo della serie UNI/TS 11300.

Nella presente specifica tecnica si considerano i seguenti tipi di servizi indicati nella legislazione applicabile:

- riscaldamento di ambienti;
- ventilazione;
- produzione di acqua calda sanitaria;
- raffrescamento e deumidificazione.

5.2 Definizione del confine del sistema edificio-impianto

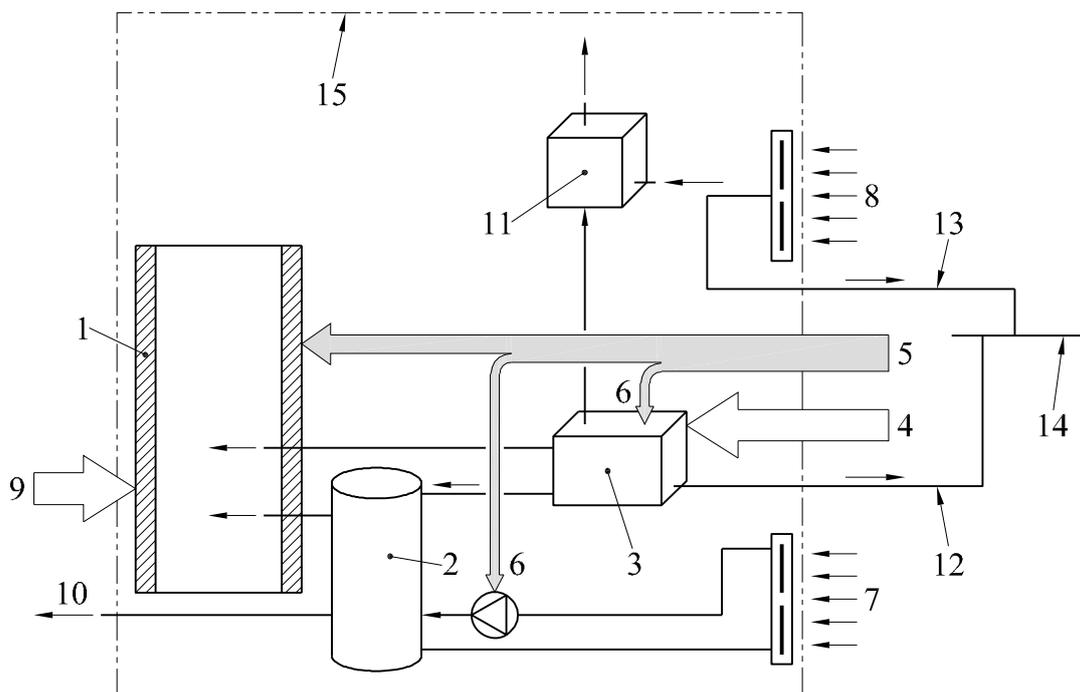
In accordo con la UNI EN 15603, la presente specifica tecnica considera confine dell'edificio (o di una porzione di edificio, per esempio un appartamento) quello comprendente tutte le aree dell'edificio nelle quali viene utilizzata o prodotta energia termica utile o energia elettrica. Tale confine può non coincidere con quello definito dall'involucro dell'edificio. Per esempio, se una parte di un impianto tecnologico (generatore, unità di trattamento aria, gruppo frigorifero ad assorbimento, torre di raffreddamento, ecc.) è situata all'esterno dell'involucro, ma costituisce parte degli usi energetici considerati, deve essere compresa all'interno del confine del sistema edificio-impianto, inteso quindi come confine energetico.



figura 1 - Confini del sistema edificio-impianto

Legenda

- 1 Utente
- 2 Accumulo
- 3 Generatore
- 4 Combustibile
- 5 Energia elettrica
- 6 Energia degli ausiliari
- 7 Collettori solari termici
- 8 Pannelli fotovoltaici
- 9 Energia termica utile da rete
- 10 Energia termica utile asportata
- 11 Torre evaporativa
- 12 Energia elettrica da cogenerazione
- 13 Energia elettrica da fotovoltaico
- 14 Rete elettrica
- 15 Confine del sistema



All'interno di tale confine, le perdite dei sottosistemi sono considerate nel calcolo del sistema secondo la presente specifica tecnica.

Nel caso in cui venga fornita al sistema edificio-impianto energia prodotta con impianti tecnologici esterni al confine dell'edificio, le perdite di produzione e di distribuzione sino al confine dell'edificio stesso sono considerate nel fattore di conversione in energia primaria dell'energia fornita.

Si considera energia fornita dall'esterno, senza processi di trasformazione all'interno dell'edificio, l'energia elettrica da rete e l'energia termica utile fornita da rete di teleriscaldamento per le quali devono essere dichiarati gli specifici fattori di conversione.



Si considera produzione di energia la trasformazione di energia realizzata con gli impianti tecnologici dell'edificio.

Attraverso il confine dell'edificio può transitare, come indicato nella figura 1, a seconda dei casi:

- energia fornita dall'esterno con combustibili fossili (4) per subire processi di trasformazione mediante gli impianti tecnologici compresi nel confine energetico dell'edificio;
- energia termica utile prodotta all'esterno con vettori energetici diversi fornita all'edificio da rete di teleriscaldamento (9);
- energia elettrica fornita da rete (5);
- energia termica utile (10) o energia elettrica auto prodotta all'interno dell'edificio (12) e (13) ed esportata all'esterno (energia termica a utenze esterne al confine edificio ed energia elettrica immessa in rete).

La radiazione solare incidente sui collettori solari non è considerata nel bilancio energetico dell'edificio, ma si considera solo l'energia termica utile fornita dal sistema solare termico e l'energia ausiliaria spesa per convogliarla dai collettori all'edificio.

Con riferimento allo schema della figura 1 si tenga conto di quanto segue:

- il generatore (3) può essere un generatore a combustione a fiamma o uno dei generatori compresi nella presente specifica (pompa di calore, unità di cogenerazione, generatore a fiamma alimentato da biomasse);
- eventuali dispositivi ausiliari della generazione (11) possono essere unità ad assorbimento, torri evaporative;
- l'energia termica utile da rete (9) può essere sostitutiva di quella prodotta nell'edificio (3) e può essere immessa direttamente nel sottosistema di distribuzione;
- l'energia termica utile esportata (10) può provenire da accumulo o direttamente dal generatore (3).

5.3 Parametri di valutazione delle prestazioni energetiche dell'edificio

La presente specifica tecnica prevede la valutazione di:

- fabbisogno di energia primaria;
- contributo in energia primaria di ciascun vettore energetico;
- produzione di CO₂ globale;
- produzione di CO₂ di ciascun vettore energetico.

I dati di tali valutazioni devono essere indicati separatamente per vettore energetico e per tipo di servizio su base mensile ed annuale.

5.4 Procedura di calcolo

5.4.1 Schema generale

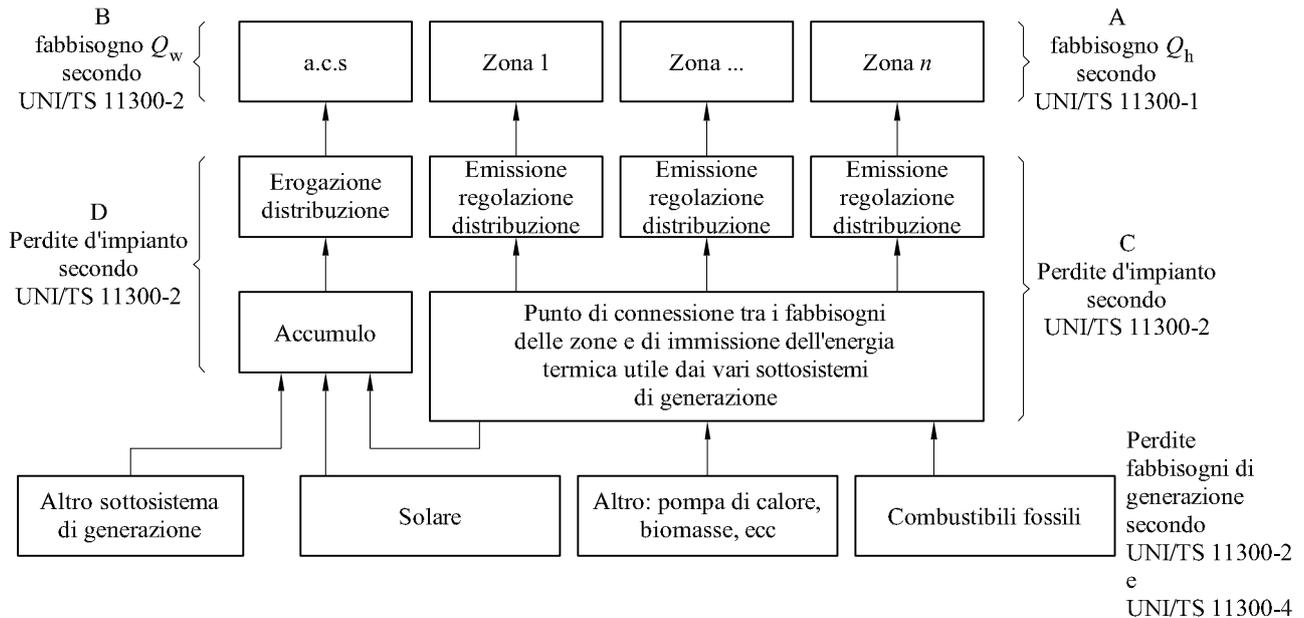
La procedura di calcolo descritta nella presente specifica tecnica riguarda sistemi che utilizzano energia termica fornita sia con unico metodo di generazione diverso dalla combustione a fiamma, sia con diversi metodi di generazione e/o vettori energetici.

Nel caso di sistemi polivalenti il fabbisogno di energia termica utile $Q_{d,in}$ richiesto dall'edificio nel periodo di calcolo considerato può essere coperto da due o più generatori di diverse tipologie e/o con diversi vettori energetici.



A titolo di esempio, lo schema della figura 2 rappresenta un sistema polivalente e plurienergetico. L'energia termica utile prodotta dai vari sottosistemi di generazione viene riversata in un punto di connessione tra distribuzione e generazione (serbatoio di accumulo o collettore di distribuzione, a seconda di quanto previsto nel progetto).

figura 2 – Schema esemplificativo di sistema polivalente e pluri-energetico



5.4.2 Fabbisogni di energia termica utile e perdite d'impianto

I fabbisogni di energia termica utile e le perdite d'impianto, escluse le perdite di generazione, si calcolano con riferimento alla figura 2 come di seguito specificato:

- **A** I fabbisogni di energia termica utile per riscaldamento secondo la UNI/TS 11300-1;
- **B** I fabbisogni di acqua calda sanitaria secondo la UNI/TS 11300-2:2008;
- **C** Le perdite d'impianto sino alla distribuzione o all'accumulo inclusi, secondo la UNI/TS 11300-2:2008 per il riscaldamento;
- **D** Le perdite d'impianto sino alla distribuzione o all'accumulo inclusi, secondo la UNI/TS 11300-2:2008 per i sistemi acqua calda sanitaria.

Nella procedura di calcolo mensile si determina per ciascun mese il fabbisogno di energia termica utile globale $Q_{gn,out}$ che deve essere fornito dalla generazione.



5.4.3 Fabbisogno di energia termica utile dalla generazione

Il fabbisogno mensile globale richiesto dalla distribuzione $Q_{d,in,mese}$ ossia il fabbisogno $Q_{gn,out,mese}$ che deve essere fornito dai sottosistemi di generazione dell'edificio e/o da energia termica utile da rete esterna (teleriscaldamento) è dato da:

$$\Sigma Q_{HW,gn,out,i,mese} = \Sigma Q_{HW,d,in,j,mese} \quad (1)$$

dove:

$\Sigma Q_{HW,gn,out,i}$ è la somma dei contributi di energia termica utile dei sottosistemi di generazione nel periodo di calcolo.

Nell'equazione (1) si considerano tutti i sottosistemi di generazione compresi quelli che non prevedono processi di trasformazione nell'edificio (per esempio energia termica utile da teleriscaldamento ed energia elettrica). Ulteriori precisazioni sono fornite nel punto 5.4.6.

5.4.4 Metodi di calcolo dei sottosistemi di generazione

Il calcolo dei sottosistemi di generazione si effettua:

- nel caso di generatori a fiamma alimentati con combustibili liquidi e gassosi destinati ad integrazione termica in sistemi polivalenti, escluse le pompe di calore ad assorbimento a fiamma diretta, con i metodi descritti nella UNI/TS 11300-2:2008 in entrambe le valutazioni di tipo A1 (design rating) e A2 (asset rating).
- in tutti gli altri casi secondo quanto specificato nella presente specifica tecnica per il sottosistema di generazione considerato.

Le perdite recuperabili si calcolano come specificato nelle parti pertinenti della serie UNI/TS 11300. In assenza di indicazioni specifiche, le perdite recuperate, da dedurre dalle perdite dello specifico sottosistema, si ottengono dalle perdite recuperabili applicando un fattore convenzionale pari a 0,8 secondo quanto previsto nel metodo semplificato della UNI EN 15603.

5.4.5 Priorità di intervento dei generatori

Nel caso di sistemi multipli costituiti da soli generatori con combustione a fiamma alimentati da combustibili fossili nella UNI/TS 11300-2:2008 si indicano due modalità di ripartizione del carico:

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

Ai fini dei calcoli energetici l'intervento dei generatori è determinato dalla potenza richiesta dall'utenza o dalla temperatura limite di funzionamento dei generatori.

Nel caso di sistemi che comprendono produzione di energia termica utile da energie rinnovabili e da altri sottosistemi di generazione (pompe di calore, cogenerazione, combustione a fiamma con vettori energetici non rinnovabili), 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 mancanza di condizioni specificate nel progetto, nel prospetto 3 è indicato come devono essere valutate le priorità per la produzione di energia termica utile per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria ai fini del calcolo.

prospetto 3 – Priorità dei generatori

Priorità ^{a)}	Sottosistema di generazione	Produzione di energia
1	Solare termico	Termica
2	Cogenerazione	Elettrica e termica cogenerata ¹⁾
3	Combustione di biomasse	Termica
4	Pompe di calore	Termica o frigorifera
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.		

Nell'intervallo di calcolo considerato, l'intervento del generatore con priorità successiva a quello considerato può essere determinato da:

(1) Fattore di carico del generatore $FC_{gn,i}$ maggiore di 1

(2) Temperatura controllante $\theta_{c,cut-off}$ minore di $\theta_{c,cut-off,min}$ o maggiore di $\theta_{c,cut-off,max}$

Nel caso (1) ossia di fattore di carico $FC_{gn,i} > 1$ il funzionamento del generatore successivo $i + 1$ può essere :

- contemporaneo a quello del generatore i , in tal caso si ha:

$$Q_{d,in,mese} = Q_{gn,out,i,mese} + Q_{gn,out,i+1,mese} \quad (2)$$

- alternato; in questo caso il generatore i viene disattivato e tutto il carico deve essere coperto dal generatore $i + 1$.

La temperatura $\theta_{c,cut-off}$ è un parametro indipendente che può essere fissato su base progettuale o operativa come specificato nel metodo di calcolo dei singoli sottosistemi di generazione trattati nella presente specifica. La temperatura $\theta_{c,cut-off}$ può essere relativa alla sorgente fredda $\theta_{c,cut-off,min}$ o al pozzo caldo ($\theta_{c,cut-off,max}$).

Per esempio, nel caso di pompe di calore tale temperatura può essere la temperatura limite inferiore della sorgente fredda al di sotto della quale si ritiene conveniente disattivare il generatore, oppure la temperatura massima di mandata alla quale viene disattivata la pompa di calore. Il prospetto 4 riassume la situazione descritta.

1) La presente specifica si applica a sistemi cogenerativi a carico termico a seguire ossia regolati in funzione del carico termico. L'energia termica è quindi la produzione di base.

prospetto 4 – Attivazione ed esercizio dei generatori

1	$FC_{gn,i} > 1$	Funzionamento contemporaneo	Il fabbisogno viene ripartito sul generatore i e sul generatore $i + 1$
		Funzionamento alternato	Il fabbisogno è coperto tutto dal generatore $i + 1$
2	$\theta_c < \theta_{c,cut\ off,min}$ $\theta_c < \theta_{c,cut\ off,max}$	Il generatore i viene disattivato e tutto il fabbisogno deve essere coperto dal generatore $i + 1$	

5.4.6 Sequenza di calcolo dei sottosistemi di generazione

La seguente sequenza di calcolo elenca i passi di calcolo secondo uno schema generale applicabile ai vari sottosistemi di generazione tenendo tuttavia conto delle specificità indicate per il calcolo dei singoli sottosistemi.

La sequenza di calcolo si riferisce a sottosistemi che generano energia termica utile.

Nel caso di unità cogenerative la presente specifica considera tali unità come generatori termici che producono energia elettrica in funzione del carico termico (regolazione: modalità carico termico a seguire). Le perdite termiche del sottosistema e le perdite recuperate sono applicate alla generazione termica.

Nel caso di generatore che fornisce energia ad un secondo generatore per subire un processo di trasformazione (per esempio unità cogenerativa che alimenta un gruppo frigorifero ad assorbimento con energia termica utile) si differenzia l'energia termica utile fornita al gruppo ad assorbimento da quella fornita alle utenze termiche dell'edificio. L'energia prodotta dal secondo generatore, le perdite e l'energia immessa non sono considerate nel bilancio termico, ma fornite solo a titolo informativo.

Nel caso di pompe di calore la quota di energia assimilata a rinnovabile si calcola secondo il punto 5.7 ma è fornita solo a titolo informativo e non viene quindi considerata nel bilancio termico.

Di seguito la procedura di calcolo nel caso sia presente un sistema solare termico:

1.1) Si calcola il fabbisogno mensile da coperto da solare termico (generatore i) ossia la frazione solare per ciascuno degli usi (acqua calda sanitaria e riscaldamento) con il metodo descritto nell'appendice C:

$$Q_{W,sol,out,mese} = f_{sol,W,mese} \times Q_{W,gn,out,mese} \quad [kWh] \quad (3)$$

$$Q_{H,sol,out,mese} = f_{sol,H,mese} \times Q_{H,gn,out,mese} \quad [kWh] \quad (4)$$

dove:

$f_{sol,W,mese}$ e $f_{sol,H,mese}$ sono le frazioni solari mensili, rispettivamente per i fabbisogni di acqua calda sanitaria e di riscaldamento, soddisfatte dall'impianto solare termico.



1.2) Si calcola il fabbisogno mensile di energia elettrica per i due servizi acqua calda sanitaria e riscaldamento:

$$Q_{\text{sol,H,aux,m}} = W_{\text{aux,H,nom}} \times t_{\text{aux,H,m}} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (5)$$

$$Q_{\text{sol,W,aux,m}} = W_{\text{aux,W,nom}} \times t_{\text{aux,W,m}} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (6)$$

dove:

$W_{\text{aux,nom}}$ è la potenza elettrica degli ausiliari [W]

$t_{\text{aux,m}}$ è il tempo di attivazione degli ausiliari [h]

1.3) Si calcola il fabbisogno che deve essere coperto da altri sottosistemi di generazione. Si ha:

$$Q'_{\text{d,H,n,mese}} = Q_{\text{d,H,in,mese}} - Q_{\text{sol,H,out,mese}} \quad [\text{kWh}] \quad (7)$$

$$Q'_{\text{d,W,n,mese}} = Q_{\text{d,W,in,mese}} - Q_{\text{sol,W,out,mese}} \quad [\text{kWh}] \quad (8)$$

dove:

$Q_{\text{d,in,mese}}$ è il fabbisogno mensile richiesto per ciascuno dei due servizi [kWh]

$Q'_{\text{d,in,mese}}$ è il fabbisogno mensile al netto della frazione solare per ciascuno dei due servizi [kWh]

1.4) Si calcola il fabbisogno di energia primaria dato da :

$$Q_{\text{p,H,mese}} = f_{\text{pe,el}} \times Q_{\text{sol,H,aux,mese}} \quad [\text{kWh}] \quad (9)$$

$$Q_{\text{p,W,mese}} = f_{\text{pe,el}} \times Q_{\text{sol,W,aux,mese}} \quad [\text{kWh}] \quad (10)$$

Se non è previsto solare termico si parte dal passo 2.1 assumendo il fabbisogno mensile pieno $Q_{\text{d,in,mese}}$ in luogo di $Q'_{\text{d,in,mese}}$.

2.1) Si calcola la potenza termica utile media mensile che deve essere coperta dal generatore successivo al solare termico:

$$\Phi_{\text{gn,out,mese}} = Q'_{\text{d,in,mese}} / h_{\text{mese}} \quad [\text{kW}] \quad (11)$$

2.2) Si verifica che la temperatura $\theta_{\text{c,cut,off}}$ nel periodo di calcolo sia tale da non disattivare il generatore. In caso non si abbia disattivazione si procede come di seguito specificato. In caso negativo si deve passare al successivo generatore partendo dai dati del passo precedente.

2.3) Si calcola il fattore di carico del generatore considerato:

$$FC_{\text{gn,i}} = \Phi_{\text{gn,out,mese}} / \Phi_{\text{max,gn,out,i}} \quad (12)$$

dove:

$\Phi_{\text{max,gn,out,i}}$ è la potenza termica utile massima del generatore.



Si possono presentare i seguenti casi:

- (a) $FC_{gn,i} \leq 1$ quindi il generatore è in grado di fornire tutta l'energia termica richiesta senza integrazione e funziona a pieno carico;
- (b) $FC_{gn,i} > 1$ quindi il generatore non è in grado di fornire tutta l'energia termica richiesta senza integrazione e funziona a pieno carico.

Nel caso (a) si procede come segue. Si determina con il metodo di calcolo relativo al generatore di calore considerato:

- l'energia termica utile: $Q'_{d,in,i,mese} / \Phi_{gn,out} \times h_{mese}$ (13);
- l'energia elettrica autoprodotta nel caso di unità cogenerativa $Q_{gn,ie,out}$;
- le perdite di generazione al lordo delle perdite recuperate $Q_{gn,in,i}$;
- il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari $Q_{el,aux,1}$;
- le perdite recuperate $Q_{egn,l,rbt}$ moltiplicate per il fattore 0,8;
- le perdite di generazione al netto delle perdite recuperate;
- il fabbisogno di energia primaria richiesto dalla generazione.

Essendo tutto il fabbisogno $Q'_{d,in,i,mese}$ fornito dal generatore senza bisogno di integrazione si passa al mese successivo ripetendo il calcolo dal passo 2.1.

Nel caso (b) si procede come segue. Si determina con il metodo di calcolo relativo al generatore di calore considerato con $FC_{gn,i}$:

- l'energia termica utile: $Q'_{gn,out,i,mese} = \Phi_{max,gn,i,out} \times h_{mese}$ (14);
- l'energia elettrica autoprodotta nel caso di unità cogenerativa $Q_{gn,ie,out,i}$;
- le perdite di generazione al lordo delle perdite recuperate $Q_{gn,in,i}$;
- il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari $Q_{el,aux,1}$;
- le perdite recuperabili;
- le perdite di generazione al netto delle perdite recuperate;
- il fabbisogno di energia primaria richiesto dalla generazione;
- il fabbisogno di energia termica utile richiesto per integrazione:

$$Q'_{d,in,int,i,mese} = Q'_{d,in,i,mese} - Q'_{gn,out,i,mese} \quad (15)$$

3) Si passa al calcolo del successivo sottosistema in ordine di priorità e si procede come nel caso precedente:

- Si verifica che la temperatura $\theta_{c,off}$ nel periodo di calcolo sia tale da non disattivare il generatore. In caso positivo si procede come di seguito specificato. In caso negativo si deve passare al successivo generatore partendo dai dati del passo 2.1.
- Si calcola la potenza media del generatore di integrazione nel periodo di calcolo:

$$\Phi_{gn,out,i+1,mese} = (Q'_{d,in,i,mese} - Q'_{gn,out,i,mese}) / h_{mese} \quad (16)$$

- Si calcola il fattore di carico del generatore considerato:

$$FC_{gn,i+1} = \Phi_{gn,out,i+1,mese} / \Phi_{max,gn,out,i+1} \quad (17)$$

e si procede come nel caso precedente.

4) Si prosegue come nei casi precedenti sino alla copertura totale del fabbisogno del mese considerato.

5.4.7 Dati mensili e annuali

Con la procedura descritta si determinano i dati mensili come indicato nel prospetto seguente.

prospetto 5 – Dati mensili dei generatori

Numero generatore	1	2	successivi da 3 fino a $n-1$	n
Sigla	$gn,1$	$gn,2$	$gn, n-1$	n
Servizio (a)				
Energia termica utile (b) [kWh]	$Q_{gn,out,1}$	$Q_{gn,out,2}$	$Q_{gn,out,n-1}$	$Q_{gn,out,n}$
Energia elettrica (c) [kWh]	$Q_{el,out,1}$	$Q_{el,out,2}$	$Q_{el,out,n-1}$	$Q_{el,out,n}$
Energia elettrica (d) [kWh]	$Q_{el,aux,1}$	$Q_{el,aux,2}$	$Q_{el,aux,n-1}$	$Q_{el,aux,n}$
Energia immessa (e) [kWh] (primaria)	$Q_{p,gn,in,1}$	$Q_{p,gn,in,2}$	$Q_{p,gn,in,n-1}$	$Q_{p,gn,in,n}$
Rendimento (f) [-]	η_1	η_2	η_{n-1}	η_n
Emissioni di CO ₂ (g) [kg CO ₂]	$M_{del,1} CO_2$	$M_{del,2} CO_2$	$M_{del,n-1} CO_2$	$M_{del,n} CO_2$
Quota rinnovabili (h) [kWh]	Dipendenti dal tipo di generatore			
Vettori energetici (i)	Dipendenti dal tipo di generatore			
(a) riscaldamento, acqua calda sanitaria, ecc. (b) energia termica - Nel caso di unità di cogenerazione è l'energia termica cogenerata. (c) energia elettrica autoprodotta con unità di cogenerazione insieme alla energia termica (b). (d) energia elettrica fornita per ausiliari. (e) energia immessa nel sottosistema. (f) calcolo secondo il punto 5.4.8. (g) calcolo secondo il punto 5.10. (h) calcolo secondo punto 5.9. (i) combustibile liquido, gassoso, energia elettrica, energia termica utile da rete, ecc.				

In base ai dati mensili si ottiene un prospetto analogo a quello del prospetto 2 con i dati relativi ai periodi di attivazione nell'anno.

Si considerano i seguenti periodi di attivazione:

- acqua calda sanitaria: 12 mesi/anno corrispondenti a 365 giorni;
- riscaldamento e raffrescamento: come indicato nella UNI/TS 11300-1;
- raffrescamento: come indicato nella UNI/TS 11300-1.

5.4.8 Rendimento di un sottosistema di generazione

Il rendimento di un sottosistema di generazione è in generale dato da:

$$\eta_i = (Q_{gn,out,i} + f_{p,el} \times Q_{gen,el,out,i}) / (f_{p,i} \times Q_{gn,in,i} + f_{p,el} \times Q_{el,aux,i}) \quad [-] \quad (18)$$

dove:

- $Q_{gn,out,i}$ è l'energia termica utile prodotta o cogenerata al netto delle perdite recuperate;
- $Q_{gn,el,out,i}$ è l'energia elettrica cogenerata o autoprodotta;
- $Q_{gn,in,i}$ è l'energia immessa con il vettore energetico (input);
- $Q_{el,aux,i}$ è l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari.

5.5 Fabbisogno di energia primaria dell'edificio

Il fabbisogno di energia primaria dell'edificio Q_p per i servizi considerati è dato dalla seguente espressione generale:

$$Q_p = \sum Q_{C,del,i} \times f_{p,C,i} - Q_{H,exp} \times f_{p,H,exp} + \sum Q_{Cbio,del,i} \times f_{p,Cbio,i} + \sum Q_{sol} \times f_{p,sol} + \sum Q_{el,del,i} \times f_{p,el} - \sum Q_{el,exp,i} \times f_{p,el} + Q_{H,tel} \times f_{p,H,tel} \quad (19)$$

dove:

- $Q_{C,del}$ è l'energia fornita da combustibili fossili [kWh];
- $Q_{H,exp}$ è l'energia termica esportata [kWh];
- $f_{p,C,i}$ è il fattore di conversione dei singoli combustibili fossili utilizzati;
- $Q_{el,del}$ è l'energia elettrica fornita all'edificio (delivered) [kWh];
- $Q_{el,exp}$ è l'energia elettrica esportata dall'edificio [kWh];
- $f_{p,el}$ è il fattore di conversione dell'energia elettrica in primaria;
- $f_{p,H,exp}$ è il fattore di conversione dell'energia termica utile prodotta nell'edificio ed esportata $Q_{C,bio,del,i}$ è l'energia fornita da biomasse combustibili (solide, liquide, gassose) [kWh];
- $Q_{H,tel}$ è l'energia termica utile fornita da rete [kWh];
- $f_{p,H,tel}$ è il fattore di conversione dell'energia termica utile fornita da rete.

La determinazione del fabbisogno di energia primaria per climatizzazione e acqua calda sanitaria degli edifici secondo la presente specifica tecnica deve tenere conto di quanto segue.



Per sistemi fotovoltaici

- Ai fini della determinazione del fabbisogno di energia primaria (valutazioni A1 e A2 e certificazione energetica) la quota di energia elettrica da solare fotovoltaico non può essere maggiore della somma del fabbisogno di energia elettrica di pompe di calore per climatizzazione e per produzione di acqua calda sanitaria, degli ausiliari degli impianti di produzione di energia dell'edificio e di illuminazione dell'edificio nel caso di destinazioni non residenziali.

Per sistemi di micro e piccola cogenerazione

- L'energia elettrica prodotta con unità cogenerative può essere utilizzata all'interno dell'edificio per ausiliari e/o produzione di energia termica (pompe di calore elettriche). L'esportazione di tale energia è ammessa solo verso la rete elettrica con compensazione sul posto.
- La quota mensile di energia termica utile da micro o piccola cogenerazione considerata nel calcolo (immessa nel sistema o esportata) non può superare quella corrispondente a produzione elettrica con dissipazione nulla di energia termica cogenerata.

Fattore di conversione dell'energia elettrica

- Ai fini della conversione di energia elettrica in energia primaria si considera lo stesso fattore per energia elettrica fornita da rete ed energia elettrica autoprodotta.

Fattore di conversione dell'energia termica esportata

Come fattore di conversione dell'energia termica utile autoprodotta ed esportata si considera:

$$f_{p,H,exp} = 1/\eta_{p,g} \quad (20)$$

dove $\eta_{p,g}$ è il rendimento globale di generazione e di distribuzione sino al punto di consegna dell'energia termica utile (per esempio nel caso di una centrale termica che alimenti sia l'edificio oggetto di valutazione che altre utenze).

5.6 Fabbisogno di energia primaria per vettore energetico

I fabbisogni di energia primaria devono essere valutati separatamente per ciascun vettore energetico. Si considerano i vettori energetici riportati nel

prospetto 6. I relativi fattori di conversione in energia primaria sono indicati nel prospetto 7.

prospetto 6 – Vettori energetici

Classificazione dei vettori energetici	Vettore energetico
Combustibili fossili	Gas naturale
	GPL
	Gasolio
	Olio combustibile
Energia elettrica da rete Energia elettrica autoprodotta	Energia elettrica
Energie rinnovabili o assimilabili a rinnovabili	Solare
	Biomasse (solide, liquide, gassose)
	Energia a bassa entalpia prelevata dall'ambiente in pompe di calore

5.7 Energia da fonte rinnovabile

5.7.1 Generalità

Si considera energia prodotta dai sottosistemi di generazione a fonte rinnovabile $Q_{HW,gen,out,ren}$ l'energia utile all'uscita del sottosistema di generazione utilizzando fonte rinnovabile.

Qualora il vettore energetico principale abbia fattore di conversione 0, tutta l'energia utile prodotta si considera come prodotta da fonte rinnovabile e non si considera l'energia termica recuperata da energia ausiliaria.

Esempio Nel caso dei sottosistemi solari termici, tutta l'energia termica utile in uscita si considera prodotta da fonte rinnovabile, cioè risulta: $Q_{HW,gen,out,ren} = Q_{tot,sol,out}$

Nel caso delle pompe di calore, la quota dell'energia utile prodotta assimilata a fonte rinnovabile deve essere valutata secondo la legislazione vigente.



5.7.2 Grado di copertura del fabbisogno di energia primaria con fonti rinnovabili

La legislazione vigente²⁾ richiede la copertura di percentuali definite del fabbisogno di energia primaria con fonti rinnovabili $f_{EP, \text{rinn}}$. La richiesta è usualmente riferita al servizio di produzione di acqua calda sanitaria, ma talora può essere riferita anche al servizio di climatizzazione.

In generale, la verifica del grado di copertura del fabbisogno di energia primaria per un determinato servizio, si effettua con la seguente procedura.

- 1) Si azzerava il contributo delle fonti rinnovabili. Ciò significa in alternativa o in combinazione:
 - ipotizzare l'assenza di eventuali sistemi solari termici e l'utilizzo del solo generatore a fonte non rinnovabile (per esempio, generatore a combustione o resistenze elettriche);
 - ipotizzare l'assenza di sistemi di generazione elettrica fotovoltaici, considerando l'acquisto dell'energia elettrica dalla rete;
 - trascurare l'apporto di generatori a biomassa e l'utilizzo del solo generatore a fonte non rinnovabile.
- 2) Si calcola il fabbisogno di energia primaria teorico EP_{NR} in assenza di contributi delle fonti rinnovabili.
- 3) Si calcola il fabbisogno di energia primaria EP_{RINN} in presenza del contributo delle fonti rinnovabili
- 4) Si calcola il grado di copertura $f_{EP, \text{rin}}$ come:

$$f_{ep, \text{ren}} = (EP_{nr} - EP_{rin}) / EP_{nr} \quad (21)$$

Nel caso in cui venga richiesta la copertura di una quota del fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria con pannelli solari termici impiegati solo per la produzione di acqua calda sanitaria, il fattore richiesto di copertura dell'energia utile $f_{sol, \text{min}}$ può essere calcolato come:

$$f_{sol, \text{min}} = f_{EP, \text{rin}, \text{min}} + (W_{sol} \times f_{p, \text{el}}) / Q_{acs} \quad (22)$$

dove:

Q_{acs} è il fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria all'ingresso del bollitore;

W_{sol} è il fabbisogno di energia ausiliaria per il funzionamento del sistema solare termico.

5.8 Attribuzione dell'energia primaria a zone e servizi

La procedura di calcolo descritta nella presente specifica tecnica consente di effettuare il calcolo separatamente per zona e per uso (riscaldamento, acqua calda sanitaria). In tal caso i fabbisogni di energia primaria per riscaldamento $EP_{H, \text{gen}, j}$, per acqua calda sanitaria $EP_{W, \text{gen}, j}$ sono attribuiti in base ai risultati del calcolo.

Nel caso di valutazioni di tipo A2, qualora più circuiti siano serviti da più generatori e non sia possibile attribuire con certezza la produzione di ciascun generatore a determinati circuiti, si ripartisce l'energia primaria dei vettori energetici consumati da ciascun generatore (compresi i rispettivi ausiliari) in base alle energie utili all'uscita dei rispettivi generatori.

2) Alla data di pubblicazione della presente specifica tecnica è in vigore il Decreto Presidente della Repubblica 59/09

Per ripartire l'energia primaria attribuibile da ciascun generatore fra i servizi acqua calda sanitaria, riscaldamento ed eventuale calore per raffrescamento si procede come segue.

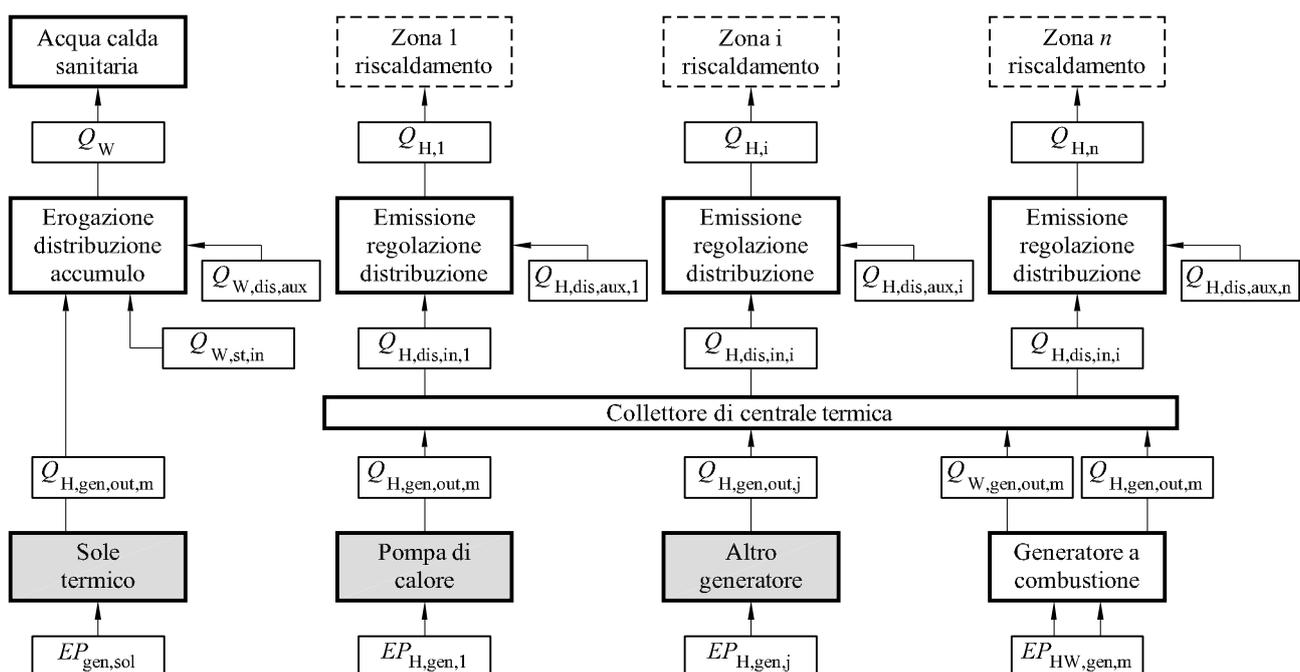
Se il calcolo avviene indipendentemente per le diverse modalità di funzionamento, i fabbisogni di energia primaria per riscaldamento $EP_{H,gen,j}$, per acqua calda sanitaria $EP_{W,gen,j}$ ed eventuali altri servizi vengono calcolati separatamente.

Si ha quindi:

$$EP_{H,gen,j} = EP_{HW,gen,j} \times Q_{H,gen,out,j} / Q_{HW,gen,out,j} \quad (23)$$

Qualora più circuiti siano serviti da più generatori e non sia possibile attribuire con certezza la produzione di ciascun generatore a determinati circuiti, si ripartisce l'energia primaria dei vettori energetici consumati da ciascun generatore (compresi i rispettivi ausiliari) in base alle energie utili all'uscita dei rispettivi generatori. L'energia primaria corrispondente degli ausiliari viene attribuita alle zone servite dai rispettivi circuiti di distribuzione, emissione e regolazione. Per esempio, con riferimento alla figura 3 l'energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria è data dalla somma delle energie primarie per acqua calda sanitaria dei generatori che contribuiscono alla sua produzione e dell'energia ausiliaria dei sistemi dedicati.

figura 3 - Esempio di sistema con pannelli solari per integrazione della produzione di acs generatore a combustione con funzione di back-up per tutti i servizi



Nel caso specifico:

$$EP_W = EP_{gen,sol} + EP_{HW,gen,m} \times Q_{W,gen,out,m} / Q_{HW,gen,out,m} + Q_{W,dis,aux} \times f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (24)$$

L'energia primaria per il riscaldamento di ciascuna zona i $EP_{H,i}$ è:

$$EP_{H,i} = \sum_{j=1}^m EP_{H,j} \cdot \frac{Q_{H,dis,i}}{\sum_{i=1}^n Q_{H,dis,i}} + Q_{H,dis,aux,i} \quad [\text{kWh}] \quad (25)$$

5.9 Fattori di conversione in energia primaria dei vettori energetici

Tenendo conto di quanto la vigente legislazione nazionale prescrive per le prestazioni energetiche degli edifici, la presente specifica tecnica assume i valori dei fattori di conversione in energia primaria dei vettori energetici contenuti nel seguente prospetto:

prospetto 7- Fattori di conversione in energia primaria

Vettore energetico	Fattore f_p
Energia elettrica	Valore dichiarato dall'Autorità per l'energia ^{a)}
Energia da combustibili fossili	1
Energia solare (solare termico e solare fotovoltaico)	0
Energia da combustione di biomasse liquide, gassose e solide quando gli impianti soddisfino le condizioni di assimilabilità ad impianti alimentati da energie rinnovabili del DPR 59/09 ^{b)}	0 ^{c)}
Energia termica utile fornita da reti di teleriscaldamento	Valore dichiarato dal fornitore
Energia termica utile esportata	$f_{p,H,exp} = 1/\eta_{p,g}$

a) Alla data di pubblicazione della presente specifica tecnica il valore è 2,174.
 b) Nel caso di sostanze liquide o gassose composte di una quota di biomassa e da una quota di combustibile fossile si deve assumere un fattore proporzionale al contributo energetico del combustibile di origine fossile (per esempio: miscele di biodiesel e gasolio oppure miscele di biogas e gas naturale).
 c) Il decreto del 26 gennaio 2010 relativo alla concessione di detrazioni per il credito d'imposta stabilite dalla legge finanziaria 2007 e successive prevede un fattore pari a 0,3.

5.10 Produzione di CO₂

Si calcola la produzione di CO₂ per ciascun vettore energetico e quella globale per edificio. I valori di produzione specifica di CO₂ dei vettori energetici si ottengono dal prospetto 8.

Nel caso in cui l'energia esportata provenga da un impianto fotovoltaico, la riduzione di emissioni non è applicabile nell'ambito delle valutazioni A.1 e A.2

Produzione per vettore energetico

La produzione di CO₂ per ciascun vettore energetico è:

$$M_{\text{del},i} \text{ CO}_2 = Q_{\text{del},i} \times k_{\text{em},i} \quad [\text{kg CO}_2] \quad (26)$$

dove:

$M_{\text{del},i} \text{ CO}_2$ è la produzione di CO₂ del vettore energetico i [kg CO₂];

$Q_{\text{del},i} \times k_{\text{em},i}$ è la produzione specifica di CO₂ del vettore energetico i [kg CO₂/kWh].

Produzione globale di CO₂ dell'edificio

La produzione globale di CO₂ si calcola in base all'energia fornita con i vari vettori energetici:

$$M_{\text{CO}_2, \text{em}, \text{mese}} = \sum Q_{\text{del},i} \times k_{\text{CO}_2, \text{em}, i} \quad [\text{kg CO}_2] \quad (27)$$

Nel caso venga esportata energia elettrica si tiene conto della riduzione di emissioni:

$$M_{\text{expCO}_2} = \sum Q_{\text{exp}, \text{el}} \times k_{\text{exp}, \text{el}} \quad [\text{kg CO}_2] \quad (28)$$

e si considera il valore:

$$M_{\text{netCO}_2} = \sum Q_{\text{del},i} \times k_{\text{CO}_2, \text{em}, i} - \sum Q_{\text{exp}, \text{el}} \times k_{\text{exp}, \text{el}} \quad [\text{kg CO}_2] \quad (29)$$

Nel caso in cui l'energia esportata provenga da un impianto fotovoltaico, la riduzione di emissioni non è applicabile nell'ambito delle valutazioni A.1 e A.2.

prospetto 8 - Fattori di emissione di CO₂

Vettore energetico	k_{em} [kg CO ₂ /kWh]
Gas naturale	0,1998
GPL	0,2254
Gasolio	0,2642
Olio combustibile	0,2704
Biomasse	0
Energia elettrica	0,4332
Energia termica da teleriscaldamento	Valore dichiarato da fornitore



6 Solare termico

6.1 Generalità

La presente specifica tecnica fornisce le modalità di applicazione in ambito nazionale della UNI EN 15316-4-3 nel quadro generale fornito dalla UNI EN 15603 come precisato nel punto 5. La presente specifica tecnica, ai fini del calcolo delle prestazioni dei sistemi solari termici, fornisce:

- i dati di ingresso richiesti;
- le modalità di calcolo delle prestazioni;
- i risultati richiesti.

La presente specifica tecnica riguarda i seguenti sistemi solari termici:

- sistemi per acqua calda sanitaria prefabbricati (UNI EN 12976-1) e sistemi assemblati su progetto (UNI CEN/TS 12977-1);
- sistemi per il solo riscaldamento e sistemi combinati (UNI CEN/TS 12977-1).

6.2 Tipologie di sistemi solari termici

Si distinguono due tipologie fondamentali di impianto solare termico:

- impianto solare termico di preriscaldamento o sistema solo solare termico;
- impianto solare termico con sistema supplementare di generazione.

In entrambi i casi il circuito solare comprende i seguenti principali componenti:

- collettori solari;
- serbatoio di accumulo;
- circuito di collegamento tra serbatoio e collettori;
- pompa di circolazione (nel caso di sistema a circolazione forzata);
- dispositivi di regolazione (particolari nel caso di circolazione forzata);
- dispositivi di controllo e di sicurezza.

Il circuito solare può essere inserito in diverse tipologie di configurazione a seconda di condizioni quali:

- tipo di servizio a cui è destinato (solo acqua calda sanitaria, riscaldamento o misto);
- condizioni climatiche della località e quota del fabbisogno di energia termica utile che deve essere coperto da energia solare;
- tipologia (edifici torre, case a schiera, villette unifamiliari) e destinazione dell'edificio (residenziale, centri sportivi, attività ricettive, ecc.);
- tipo di integrazione termica prevista (caldaia per solo riscaldamento, caldaia combinata, boiler istantaneo, pompa di calore);
- modalità di collegamento alla distribuzione dell'edificio (direttamente sulla distribuzione acqua calda sanitaria, circuito di distribuzione acqua pre-riscaldata e integrazione nelle unità immobiliari).

Nei riguardi della modalità di fornitura e di installazione la specifica distingue:

- Impianto solare termico prefabbricato;
- Impianto solare termico assemblato su progetto.

Nel primo caso si è in presenza di prodotto o di kit (assimilato a prodotto) in cui tutti i componenti (collettori, circuito dei collettori, accumulo, pompe, regolazioni, ecc.) sono dimensionati e assemblati secondo il



progetto del fabbricante allo scopo di fornire determinate prestazioni. Si rinvia alla UNI EN 12976-2 la quale fornisce le metodologie di prova per determinare le prestazioni di tali prodotti.

Nel secondo caso il sottosistema di produzione solare è assemblato in loco con singoli componenti in base ad un progetto. Il riferimento è quindi alle prestazioni dei componenti e ai calcoli alla base del progetto. Le caratteristiche dei sistemi assemblati su specifica sono determinate in base alla UNI CEN/TS 12977-2. Nell'appendice A sono riportati a titolo informativo i dati caratteristici dei componenti di un sistema solare termico. Nell'appendice B sono invece riportati alcuni esempi di schemi impiantisti dei sistemi solari termici più comuni.

6.3 Procedura di calcolo

6.3.1 Dati caratteristici e parametri prestazionali

Il calcolo dei sistemi solari termici si inserisce nel quadro generale di calcolo della presente specifica tecnica tenendo conto delle vigenti disposizioni legislative.

La tipologia dell'impianto, le modalità di installazione dei componenti e i dati prestazionali relativi si ottengono dal progetto o da rilievi e dai dati dichiarati dai fabbricanti. Nella relazione deve essere indicata la fonte dei dati assunti per il calcolo.

I fabbisogni di energia termica utile e perdite d'impianto si calcolano come specificato nel punto 5.

Le prestazioni dei sistemi solari termici sono determinate dai seguenti parametri:

- caratteristiche dei collettori solari;
- caratteristiche geometriche e termofisiche dei serbatoi di accumulo;
- perdite termiche del circuito solare (collettore, tubazioni di collegamento al serbatoio, ecc.);
- tipologia e modalità di regolazione (salti termici, set point, ecc.);
- caratteristiche e modalità di regolazione dei circolatori.

Le prestazioni dipendono inoltre dai dati climatici e di insolazione della località considerata e dalle modalità di installazione con riferimento a quanto indicato nella presente specifica tecnica.

6.3.2 Fabbisogno di energia primaria

Il fabbisogno di energia primaria, considerando che il fattore di conversione dell'energia primaria dell'energia termica prodotta da impianto solare è pari a zero, è dato da:

$$Q_{p,sol} = \sum f_{p,el} \times Q_{sol,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (30)$$

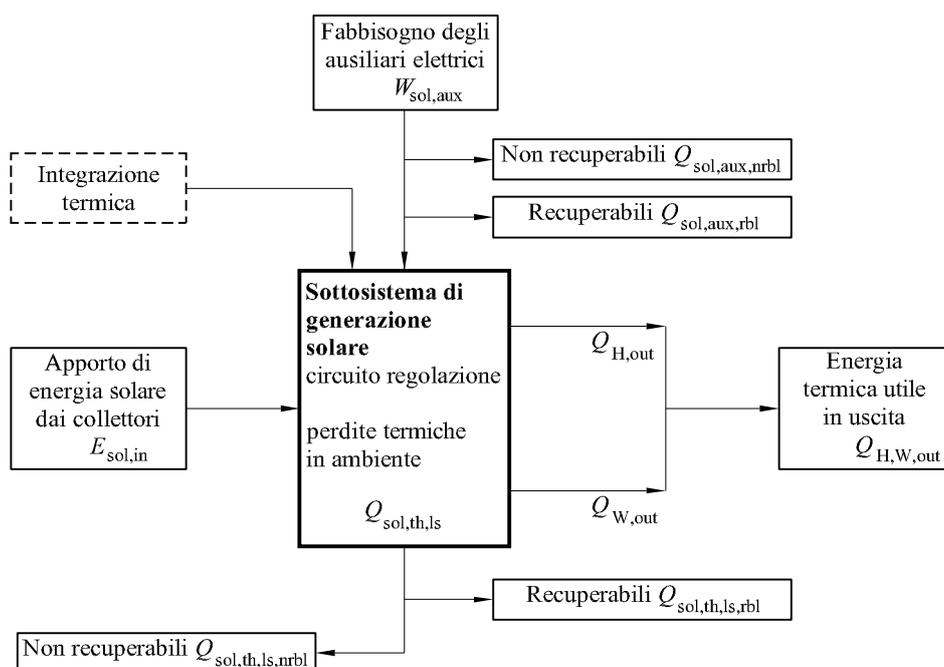
Ossia il fabbisogno di energia primaria del sottosistema di generazione solare è dato solo dal fabbisogno di energia degli ausiliari del sottosistema, convertito in energia primaria con il relativo fattore di conversione.

Tenendo in considerazione quanto riportato nel punto 5, per il calcolo del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dell'edificio e/o la produzione di acqua calda sanitaria è necessario, nel caso in cui sia presente un sistema solare termico, calcolare la quota di fabbisogno di energia termica soddisfatta da quest'ultimo. A tal proposito si faccia riferimento al punto 6.3.4.

6.3.3 Bilancio termico del sottosistema

La figura 4 riporta il bilancio energetico di un sottosistema solare termico.

figura 4 - Bilancio energetico di sottosistema solare termico



I dati mensili risultanti dal calcolo sono:

- energia termica utile fornita all'edificio;
- perdite termiche del serbatoio di accumulo;
- fabbisogno di energia ausiliaria;
- energia termica utile recuperabile e recuperate dall'energia ausiliaria;
- perdite termiche recuperabili e recuperate del serbatoio di accumulo;
- energia termica di integrazione.

6.3.4 Metodi di calcolo

La presente specifica tecnica considera solo collettori con fluido termovettore acqua. La UNI EN 15316-4-3 prevede due metodologie di calcolo per tali circuiti solari:



Metodo A: il metodo si applica solo ai sottosistemi solari prefabbricati ed utilizza come dati di ingresso gli indicatori di prestazione provenienti da prove secondo la UNI EN 12976-2 per il quale si rinvia alla UNI EN 15316-4-3. L'applicazione del metodo è ammessa per sistemi con area di collettori minore di 6 m².

Metodo B: il metodo si applica ai sottosistemi solari assemblati su progetto ed utilizza come dati in ingresso i dati caratteristici dei componenti provenienti da prove sui componenti stessi secondo le specifiche norme di prodotto.

L'appendice C riporta il metodo B opportunamente aggiornato per consentirne l'applicazione a livello nazionale. Nell'appendice D è riportato un esempio di calcolo di solare termico con il metodo B.

7 Solare fotovoltaico

7.1 Generalità

L'energia elettrica prodotta da impianti fotovoltaici $E_{el,pv,out}$ è funzione della radiazione solare, della potenza di picco installata e del fattore di efficienza dell'impianto. La UNI/TS 11300-4 integra la UNI/TS 11300-2:2008 per quanto riguarda la determinazione dell'energia elettrica prodotta da sistemi fotovoltaici installati negli edifici.

La specifica fornisce le modalità di applicazione in ambito nazionale della UNI EN 15316-4-6. Il calcolo viene effettuato su base mensile. Nel calcolo non vengono considerate l'energia termica prodotta dall'impianto fotovoltaico, il consumo degli ausiliari elettrici, le perdite di generazione e i recuperi di tali perdite ai fini del riscaldamento degli ambienti.

7.2 Metodo di calcolo

7.2.1 Energia prodotta mensilmente dall'impianto fotovoltaico

L'energia elettrica prodotta mensilmente dal sistema fotovoltaico è data da:

$$E_{el,pv,out} = (E_{pv} \times W_{pv} \times f_{pv}) / I_{ref} \quad [\text{kWh}] \quad (31)$$

dove:

E_{pv} è l'irradiazione solare mensile incidente sull'impianto fotovoltaico [kWh/m²];

W_{pv} è la potenza di picco, che rappresenta la potenza elettrica di un impianto fotovoltaico di una determinata superficie, per una irradianza di 1 kW/m² su questa superficie (a 25°C);

f_{pv} è il fattore di efficienza del sistema che tiene conto dell'efficienza dell'impianto fotovoltaico integrato nell'edificio e dipende dall'impianto di conversione da corrente continua a corrente alternata, dalla temperatura operativa reale dei moduli fotovoltaici e dall'integrazione nell'edificio dei moduli stessi (vedere prospetto 9);

I_{ref} è l'irradianza solare di riferimento pari a 1 kW/m².

prospetto 9 - Valori del fattore di efficienza f_{pv}

Grado di ventilazione dei moduli fotovoltaici	f_{pv} [-]
Moduli non ventilati	0,70
Moduli moderatamente ventilati	0,75



Moduli molto ventilati o con ventilazione forzata	0,80
---	------

Un esempio di calcolo dell'energia prodotta mensilmente da un impianto fotovoltaico è riportato nell'appendice E.

7.2.2 Irradiazione solare sul piano dei moduli

L'irradiazione solare mensile incidente sull'impianto fotovoltaico E_{pv} si calcola secondo UNI/TR 11328-1, considerando l'angolo azimutale delle superfici dei pannelli e la loro inclinazione sull'orizzonte. Nel calcolo devono essere considerati anche eventuali ombreggiamenti sul piano dei moduli solari.

7.2.3 Potenza di picco dell'impianto fotovoltaico

La potenza di picco W_{pv} si ottiene in condizioni di prova. Se tale valore non è disponibile può essere calcolato come:

$$W_{pv} = K_{pv} \times A_{pv} \text{ [kW]} \quad (32)$$

dove:

K_{pv} è il fattore di potenza di picco che dipende dal tipo di modulo fotovoltaico installato. I valori di K_{pv} sono riportati nel prospetto 10 [kW/m²]

A_{pv} è la superficie di captazione dell'impianto fotovoltaico, al netto del telaio [m²]

prospetto 10 - Valori del fattore di potenza di picco K_{pv}

Tipo di modulo fotovoltaico	K_{pv} [kW/m ²]
Silicio mono cristallino	0,150
Silicio multi cristallino	0,130
Film sottile di silicio amorfo	0,060
Altri strati di film sottile	0,035
Film sottile di diseleniuro di indio-rame-gallio (CIGS)	0,105
Film sottile di telluro di cadmio (CdTe)	0,095

8 Combustione di biomasse

8.1 Generalità

La presente parte della specifica definisce le modalità per la determinazione del rendimento dei sottosistemi di generazione con combustione a fiamma di biomasse. Si intendono compresi nel sottosistema i serbatoi d'accumulo inerziali.

Ai fini della determinazione del fabbisogno di energia primaria dell'edificio si considerano alimentati da sorgente rinnovabile gli impianti di climatizzazione invernale dotati di generatori di calore alimentati a biomasse combustibili che rispettano i requisiti definiti dalla legislazione vigente³.

8.2 Bilancio termico del sottosistema

L'energia richiesta dal sottosistema per la combustione (sottosistemi monovalenti) è data da:

$$Q_{gn,in} = Q_{gn,out} + Q_{l,gn} + Q_{l,gn,s} - (k_{s,rth} \times Q_{l,gn,s}) - (k_{aux,rth} \times Q_{gn,aux}) \quad [kWh] \quad (33)$$

dove:

$Q_{gn,in}$ è l'energia richiesta dal sottosistema per la combustione [kWh];

$Q_{gn,out}$ è l'energia termica utile richiesta [kWh];

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

$Q_{l,gn,s}$ sono le perdite d'accumulo [kWh];

$k_{s,rth}$ è il fattore di recupero delle perdite di accumulo [-];

$k_{aux,rth}$ è il fattore di recupero dell'energia ausiliaria [-];

$Q_{gn,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sistema di generazione [kWh].

Qualora si utilizzino i valori precalcolati del rendimento medio stagionale riportati nei prospetti seguenti l'energia ausiliaria non può essere considerata come recuperabile e quindi nella formula si pone $(k_{aux,rth} \times Q_{gn,aux}) = 0$

Il rendimento del sottosistema è dato da:

$$\eta_{gn,p} = Q_{gn,out} / (f_{p,x} \times Q_{gn,in} + f_{p,el} \times Q_{gn,aux}) \quad [-] \quad (34)$$

dove:

$f_{p,x}$ fattore di conversione dell'energia termica in energia primaria a seconda del vettore energetico (in questo caso biomasse);

$f_{p,el}$ fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria.

8.3 Tipologie di generatori

Ai fini della presente specifica tecnica si considerano le seguenti tipologie di generatori:

- 1) generatori a caricamento automatico a biomassa solida (legna, pellet, cippato);
- 2) generatori a caricamento manuale a biomassa solida;
- 3) generatori con bruciatori ad aria soffiata a biomassa liquida (oli vegetali quali olio di palma, colza, girasole) o gassosa (biogas).

Nei riguardi del fluido termovettore si considerano:

3) Alla data di pubblicazione della presente specifica tecnica, si conderi quanto prescritto nel DPR 59/09 ai fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria.



- generatori con fluido termovettore acqua;
- generatori con fluido termovettore aria.

8.4 Metodo di calcolo

Per i generatori a biomassa solida a caricamento manuale si utilizzano in ogni caso i valori precalcolati dei prospetti.

Per i generatori a biomassa solida a caricamento automatico, i valori precalcolati possono essere utilizzati solo quando siano verificate le condizioni al contorno specificate nella legenda. Qualora non sia possibile utilizzare i valori precalcolati dei prospetti sopra citati, si utilizzano i metodi della UNI/TS 11300-2:2008, facendo riferimento ai dati del generatore determinati secondo la UNI EN 303-5.

Qualora si utilizzino i valori precalcolati, le perdite di calore si considerino tutte non recuperabili.

8.4.1 Rendimenti di generazione precalcolati

Nei prospetti seguenti sono indicati valori precalcolati dei rendimenti di generazione precalcolati:

- per generatori di calore con fluido termovettore acqua (da prospetto 11 a prospetto 15);
- per i generatori con fluido termovettore aria (prospetto 16 e prospetto 17).

La lettura dei prospetti seguenti deve essere fatta tenendo conto dei fattori di correzione elencati nella legenda.

Legenda dei fattori di correzione:

- 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.

Generatori con fluido vettore acqua.

prospetto 11 - Termocamini, termostufe e termocucine a biomassa

Periodo di costruzione del generatore	Valore di base	F1 ¹⁾			F3
		1	2	4	



Prima del 1978	50	0	-2	-6	-4
1978-1994	60	0	-2	-6	-4
Dopo 1994	70	0	-2	-6	-4
	Valore secondo la UNI EN 13229 UNI EN 13240 UNI EN 12815	0	-2	-6	-4
1) Se il generatore opera su un serbatoio inerziale dimensionato secondo la EN 303-5 F1 si considera uguale a 1.					
2) Il valore del rendimento base è quello riferito alla potenza nominale.					

prospetto 12 - Generatori di calore a biomassa a caricamento manuale aspirati

Periodo di costruzione del generatore	Valore di base	F1 ¹⁾			F2	F3	F4
		1	2	4			
Prima del 1978	79	0	-2	-6	-9	-2	-2
1978-1994	80	0	-2	-6	-9	-2	-2
Dopo 1994	82	0	-2	6	-9	-2	-2
Secondo UNI EN 303-5	Valore determinato secondo UNI EN 303-5 ²⁾	0	-2	6	-8	-2	-2
1) Se il generatore opera su un serbatoio inerziale dimensionato secondo la EN 303-5 F1 si considera uguale a 1.							
2) Il valore del rendimento base è quello riferito alla potenza nominale.							

prospetto 13 - Generatori di calore a biomassa a caricamento manuale con ventilatore

Periodo di costruzione del generatore	Valore di base	F1 ¹⁾			F2	F3	F4
		1	2	4			
Prima del 1978	81	0	-2	-5	-9	-2	-2
1978-1986	83	0	-2	-5	-9	-2	-2
1986-1994	85	0	-2	-5	-9	-2	-2
Dopo 1994	86	0	-2	-5	-9	-2	-2
Secondo UNI EN 303-5	Valore determinato	0	-2	-5	-8	-2	-2



	secondo UNI EN 303-5 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 14 - Generatori di calore a biomassa a caricamento automatico con ventilatore

Valore di base	F1 ¹⁾			F2	F4	F5	F6
	1	1,5	2				
90	0	-1	-2	-2	-1	-1	-2
Valore secondo UNI EN 303-5 ²⁾ (caldaie a biomassa)	0	-1	-2	-2	-1	-1	-2
Valore secondo UNI EN 14785 (termostufe)	0	-1	-2	0	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 15 - Generatori di calore a biomassa a condensazione a caricamento automatico con ventilatore

Valore di base	F1 ¹⁾			F2	F5	F6	F7			
	1	1,5	2				40	50	60	>60
92	0	-1	-2	-1	-2	-2	-0	-3	-5	-6
Valore secondo UNI EN 303-5 ²⁾	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.										

Generatori con fluido termovettore aria:

prospetto 16 - Caminetti, inserti, stufe e cucine

Periodo di costruzione del generatore	Valore di base	F1 ¹⁾			F3
		1	2	4	



Prima del 1978	50	0	-2	-6	-4
1978-1994	60	0	-2	-6	-4
Dopo 1994	65	0	-2	-6	-4
	Valore secondo UNI EN 13229 UNI EN 13240 ²⁾ UNI EN 12815	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 17- Generatori di calore a biomassa a caricamento automatico con ventilatore

Valore di base	F1 ¹⁾		
	1	1,5	2
80	0	-1	-2
Valore secondo UNI EN 14785 ²⁾	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.			

Le perdite di generazione dei generatori a biomassa liquida o gassosa con bruciatori ad aria soffiata possono essere calcolate secondo UNI/TS 11300-2:2008, se la tipologia del generatore è coerente, oppure con il metodo analitico descritto nella UNI/TS 11300-2:2008, utilizzando i dati dei combustibili effettivamente impiegati.

8.4.2 Perdite recuperabili, non recuperabili e recuperate

Le perdite si suddividono in:

- perdite recuperabili;
- perdite recuperate;
- perdite non recuperabili.

Per il presente sottosistema di generazione sono recuperabili le seguenti perdite:

- 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.

Le suddette perdite recuperabili sono calcolate secondo la presente specifica tecnica. Il recupero termico dalle seguenti perdite è considerato nel rendimento del generatore a pieno carico e a carico ridotto come:

- energia trasmessa dal ventilatore del bruciatore;



- energia richiesta per l'accensione del combustibile.

Per il presente sottosistema di generazione non sono recuperabili le seguenti perdite:

- le perdite del mantello del generatore e dell'accumulo quando sono installati all'esterno dello spazio riscaldato;
- le perdite delle ceneri;
- le perdite al camino.

8.4.3 Calcolo dell'energia dei sistemi ausiliari

Se la determinazione del fabbisogno di energia e del rendimento del sottosistema è effettuato con i metodi analitici della UNI/TS 11300-2:2008, la determinazione dell'energia ausiliaria viene effettuata secondo quanto indicato nel metodo stesso. In caso contrario, qualora si siano utilizzati rendimenti di generazione praprecalcolati, si procede come segue.

Il fabbisogno di energia dei sistemi ausiliari si calcola con la seguente equazione.

$$Q_{gn, aux} = (P_{aux,px} \times t_{on} + P_{aux,off} \times t_{off}) / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (35)$$

dove:

$P_{aux,px}$ è potenza degli ausiliari del generatore alla potenza media [W];

t_{on} tempo di funzionamento del generatore [h];

t_{off} tempo di non funzionamento del generatore [h].

La potenza degli ausiliari deve essere calcolata nelle condizioni medie di funzionamento $W_{aux,px}$ per interpolazione lineare tra i valori delle potenze degli ausiliari a pieno carico $P_{aux,pn}$, a carico intermedio $P_{aux,pint}$ e a carico nullo $P_{aux,p0}$.

Se $F_{cu,px}$ è compreso tra 0 e $F_{cu,pint}$, $P_{aux,px}$ è dato da:

$$P_{aux,px} = P_{aux,p0} + \frac{F_{cu,px}}{F_{cu,pint}} \times (P_{aux,pint} - P_{aux,p0}) \quad [\text{W}] \quad (36)$$

Se $F_{cu,px}$ è compreso tra $F_{cu,pint}$ e $F_{cu,pn}$, $P_{aux,px}$ è dato da:

$$P_{aux,px} = P_{aux,pint} + \frac{(F_{cu,px} - F_{cu,pint}) \times (P_{aux,pn} - P_{aux,pint})}{F_{cu,pn} - F_{cu,pint}} \quad [\text{W}] \quad (37)$$

Ai fini del calcolo del fattore di carico nel caso in cui non sia nota la potenza minima del generatore di calore (caldaie non conformi alla UNI EN 303-5) si assume:

- per i generatori a caricamento manuale

$$\Phi_{gnr,min} = \Phi_{gnr,nom} \times 0,7 \quad [\text{kWh}] \quad (38)$$

- per i generatori a caricamento automatico



$$\Phi_{\text{gnr,min}} = \Phi_{\text{gnr,nom}} \times 0,3 \quad [\text{kWh}] \quad (39)$$

I valori di P_{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 del rendimento di generazione, 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:

$$P_{\text{aux}} = A + B \times \left(\frac{\Phi P_n}{1000} \right)^n \quad [\text{W}] \quad (40)$$

dove:

P_{aux} potenza degli ausiliari a potenza nominale, intermedia o nulla;

ΦP_n potenza termica utile nominale del generatore in kW;

A, B, n sono i parametri per potenza ΦP_n , ΦP_{int} , ΦP_o riportati nel prospetto 18 per generatori con fluido vettore acqua e nel prospetto 19 per generatori con fluido vettore aria.

prospetto 18 - Valori di default per il calcolo della potenza degli ausiliari per generatori a biomassa con fluido vettore acqua

Tipo generatore	Carico del generatore	A	B	n
Generatori atmosferici	ΦP_n	40	0,35	1
	ΦP_{int}	20	0,1	1
	ΦP_o	15	0	0
Generatori con ventilatore	ΦP_n	0	45	0,48
	ΦP_{int}	0	15	0,48
	ΦP_o	15	0	0

prospetto 19 - Valori di default per il calcolo della potenza degli ausiliari per generatori a biomassa con fluido vettore aria.

Tipo generatore	Carico del generatore	A	B	n
Generatori privi di ausiliari	ϕP_n	0	0	0
	ϕP_{int}	0	0	0
	ϕP_o	0	0	0
Generatori con ventilatori	ϕP_n	0	45	0,48
	ϕP_{int}	0	15	0,48
	ϕP_o	15	0	0

8.4.4 Sottosistema di accumulo

La UNI EN 305-5 prevede di collegare alle caldaie a biomassa a caricamento manuale un accumulo inerziale quando $\phi_{gn,nom}/\phi_{des} \geq 1,5$.

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:

- serbatoio di stoccaggio;
- tubazioni di distribuzione tra la caldaia e accumulo, pompa di circolazione, regolazione.

Le perdite del sistema di accumulo inerziale si calcolano secondo la UNI/TS 11300-2:2008.

Qualora non fosse noto il volume del serbatoio di accumulo inerziale, per le caldaie a caricamento manuale si calcola attraverso la seguente equazione:



$$V_{acc} = 15 \times t_{gn} \times \Phi_{gn,nom} \times (1 - 0,3 \times \Phi_{des}/\Phi_{min}) \quad [l] \quad (41)$$

Mentre per i sistemi a caricamento automatico il volume dell'accumulo è dato da:

$$V_{acc} = k_{acc} \times \Phi_{des} \quad [l] \quad (42)$$

dove:

$t_{gn,nom}$ è il periodo di combustione in ore del generatore;

$\Phi_{gn,nom}$ è la potenza nominale della caldaia in kW;

$\Phi_{gn,min}$ è la potenza minima della caldaia in kW;

Φ_{des} è il fabbisogno termico alla temperatura di progetto per il riscaldamento dell'edificio espresso in kW;

k_{acc} è il fabbisogno in litri per kW di potenza assunto pari a 25 l/kW.

8.4.5 Quota di energia utile attribuita dai generatori a biomassa in sistemi bivalenti

Ai fini della presente specifica tecnica si distingue tra:

- sistemi di generazione monovalenti: quando tutta l'energia termica utile richiesta dall'edificio è fornita solo da uno o più generatori di calore a biomasse;
- sistemi bivalenti o polivalenti: quando l'energia termica utile richiesta dall'edificio è fornita da almeno un generatore a biomasse e da uno o più generatori i cui consumi siano riconducibili a fonti non rinnovabili (combustibili fossili e energia elettrica).

Nel caso di sistemi bivalenti e polivalenti con fluido termovettore acqua la quota di energia utile fornita dai generatori a biomassa non può superare i valori riportati nei prospetti seguenti.

Nel caso di edifici o porzioni di edificio (appartamenti) nei quali esista 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 22 qualora interterminali di erogazione collegati all'impianto centrale con generatore di calore alimentato da combustibili solidi 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 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.

prospetto 20 – Sistemi per il riscaldamento o combinati (riscaldamento + acs) con fluido termovettore acqua

Tipo generatore	Quota fornita dalla 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 21 – Sistemi per la sola produzione di acs con fluido vettore acqua

Tipo generatore	Quota fornita dalla 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 22 – Sistemi per il riscaldamento con fluido termovettore aria

Tipo generatore	Quota fornita dalla biomassa % ^{a)}
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.	

9 Pompe di calore

9.1 Generalità

La presente specifica tecnica definisce i dati d'ingresso e le modalità di calcolo per la determinazione:

- del fabbisogno mensile dei vettori energetici dei sottosistemi di generazione con pompe di calore per riscaldamento e/o produzione di acqua calda sanitaria;
- della quota di fabbisogno di energia utile della distribuzione a carico di sistemi di integrazione da calcolarsi con le pertinenti parti della presente specifica tecnica.

La specifica tecnica si applica a pompe di calore a compressione di vapore azionate da motore elettrico e a pompe di calore ad assorbimento utilizzando come fonti di energia l'aria, il terreno o le acque, sia di falda sia



superficiali, e impiegate quali generatori termici per i servizi di riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria tramite fluido termovettori aria e acqua. Non si considerano nella presente specifica tecnica pompe di calore a compressione di vapore azionate da motori endotermici ciclo Otto a gas o Diesel.

9.2 Classificazione degli impianti con pompa di calore

9.2.1 Generalità

Gli impianti che utilizzano pompe di calore si classificano in relazione a:

- tipo di fonte energetica sfruttata;
- tipo di sorgente fredda;
- tipo di servizio;
- vettori energetici e tipologie di generatori;
- tipi di fluido termovettore.

9.2.2 Fonti di energia

Una classificazione delle tipologie di fonti di energia da cui si estrae calore tramite pompe di calore è data nel prospetto 23.

prospetto 23 – Classificazione per fonte energetica sfruttata

Fonte di energia	Tipologia fonte di energia sfruttata	Modalità di estrazione
Aria esterna	Rinnovabile "aerotermica"	Raffreddamento e deumidificazione dell'aria esterna
Aria interna	Non rinnovabile se proveniente da sistemi impieganti energie fossili, ad esclusione dell'aria di espulsione	Raffreddamento e deumidificazione dell'aria interna di espulsione in sistemi di recupero
Roccia	Rinnovabile "geotermica"	Raffreddamento del sottosuolo
Terreno	Rinnovabile "geotermica"	Raffreddamento del sottosuolo
Acqua di falda	Rinnovabile "geotermica"	Raffreddamento del sottosuolo
Acqua di mare	Rinnovabile "idrotermica"	Raffreddamento acque superficiali
Acqua di lago	Rinnovabile "idrotermica"	Raffreddamento acque superficiali
Acqua di fiume	Rinnovabile "idrotermica"	Raffreddamento acque superficiali
Acque di risulta e liquami di processi tecnologici	Non rinnovabile	Raffreddamento acque e/o liquami di processo



Liquami urbani	Assimilabile a rinnovabile	Raffreddamento liquami urbani
----------------	----------------------------	-------------------------------

9.2.3 Tipi di servizio

Si considerano i seguenti tipi di servizio:

- riscaldamento;
- acqua calda sanitaria;
- combinato riscaldamento/acqua calda sanitaria.

9.2.4 Vettori energetici e tipologie di generatori

Gli impianti alimentati da pompa di calore possono essere:

- monovalenti quando tutto il fabbisogno termico stagionale è coperto dalla pompa di calore;
- bivalenti monoenergetici quando una quota del fabbisogno termico stagionale è coperto dalla pompa di calore ed una quota di integrazione è fornita da un generatore ausiliario che utilizza lo stesso vettore energetico della pompa di calore;
- bivalenti e bienergetici quando il fabbisogno termico stagionale è coperto dalla pompa di calore e da un generatore ausiliario che utilizza un vettore energetico diverso da quello utilizzato dalla pompa di calore.

Nei riguardi dei vettori energetici la presente specifica tecnica considera:

- energia elettrica per le pompe di calore a compressione di vapore;
- combustibili gassosi e liquidi per le pompe di calore ad assorbimento a fuoco diretto.

9.3 Calcolo della frazione di energia rinnovabile da fonte aerotermica, geotermica e idrotermica

La frazione di energia rinnovabile da fonte aerotermica, geotermica e idrotermica si calcola secondo il punto 5.7.

9.4 Prestazioni delle pompe di calore

9.4.1 Generalità sul metodo di calcolo

Il metodo di calcolo descritto nella presente specifica tecnica si basa sui seguenti dati:

- potenza termica utile erogata;
- solo per la funzione riscaldamento, potenza richiesta in ingresso (input);
- COP o GUE (in alternativa o in aggiunta alla potenza richiesta: $COP \text{ o } GUE = \text{potenza erogata} / \text{potenza richiesta}$);
- coefficiente correttivo del COP e del GUE ai carichi parziali.

Ai fini del calcolo secondo la presente specifica tecnica il fabbricante deve fornire di seguenti dati:

- prestazioni a pieno carico (ossia a fattore di carico macchina CR pari ad 1 alle temperature di sorgente fredda e pozzo caldo) determinate secondo le norme tecniche pertinenti.

Nota Il fattore CR è il fattore di carico macchina (capacity ratio) che si calcola come indicato nel punto 9.9.4.2.



- Prestazioni a fattore di carico climatico PLR⁴⁾ diverso da 1, per le pompe di calore a compressione di vapore, alle stesse temperature di sorgente fredda e di pozzo caldo di cui al punto precedente secondo le condizioni climatiche di riferimento A, W, C definite dal prEN 14825:2010.
- Prestazioni a fattore di carico climatico PLR diverso da 1 delle pompe di calore ad assorbimento dichiarate dal costruttore in accordo con la UNI EN 12309-2.

La presente specifica tecnica definisce nel punto 9.4.2 le condizioni di riferimento per le quali il fabbricante deve dichiarare le prestazioni a pieno carico e a carico parziale.

Nel punto 9.4.3 si definisce come determinare le prestazioni a pieno carico in condizioni di temperatura diverse da quelle del prospetto 24 e del prospetto 25 e nel punto 9.4.4 come determinare il fattore correttivo del COP per fattori di carico macchina CR minori di 1.

Le curve o i valori tabulati di potenza termica resa a pieno carico devono essere fornite dal fabbricante con riferimento alle norme tecniche di prodotto, in funzione della temperatura della sorgente fredda (aria esterna, acqua del circuito dell'evaporatore, o terreno in caso di "espansione diretta nel sottosuolo").

9.4.2 Prestazioni a pieno carico dichiarate

9.4.2.1 Generalità

Le pompe di calore possono essere fornite:

- senza di generatore di integrazione termica;
- con generatore di integrazione termica.

Il generatore di integrazione compreso nella macchina può essere una resistenza elettrica o un generatore a combustione alimentato con combustibili gassosi o liquidi.

9.4.2.2 Pompe di calore prive di generatore di integrazione termica

Il metodo di calcolo descritto nella presente specifica tecnica si basa sui seguenti dati

- potenza termica utile erogata;
- potenza richiesta in ingresso (input);
- COP o GUE (in alternativa o in aggiunta alla potenza richiesta: COP o GUE = potenza erogata / potenza richiesta);
- coefficiente correttivo del COP ai carichi parziali.

Ai fini del calcolo secondo la presente specifica tecnica il fabbricante deve fornire i seguenti dati:

- prestazioni a pieno carico (ossia a fattore di carico macchina pari ad 1 alle temperature di sorgente fredda e pozzo caldo indicate nei prospetti 4 e 5 determinate secondo le norme tecniche vigenti;
- prestazioni a fattore di carico climatico PLR diverso da 1 alle stesse temperature di sorgente fredda e di pozzo caldo di cui al punto precedente secondo le condizioni climatiche di riferimento A, W, C definite dal prEN 14825:2010.

4) Il fattore PLR definito "part load ratio" è il fattore di carico climatico che, secondo il prEN 14825:2010, è calcolato come segue: $PLR = (\theta_e - 16) / (\theta_{des} - 16)$ dove θ_e è la temperatura esterna considerata, θ_{des} è la temperatura di progetto, 16 è la temperatura di bilanciamento.

prospetto 24 - Condizioni di riferimento per i dati prestazionali forniti dal fabbricante. Pompe di calore per solo riscaldamento o funzionamento combinato

Sorgente fredda	Temperatura sorgente fredda				Temperatura pozzo caldo riscaldamento ad aria ¹⁾	Temperatura pozzo caldo riscaldamento idronico ²⁾			Temperatura pozzo caldo produzione acs ³⁾	
	-7	2	7	12		35	45	55	45	55
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 25 - Condizioni di riferimento per i dati prestazionali forniti dal fabbricante. Pompe di calore per sola produzione acqua calda sanitaria

Pompa di calore	Temperatura sorgente fredda (aria)				Temperatura pozzo caldo produzione acs ¹⁾
Sola produzione acs	7	15	20	35	
	7	15	20	35	55

1) Per almeno una delle temperature indicate. Altri dati suggeriti: 45°C, 65°C.

È facoltà del fabbricante fornire, in aggiunta, dati per temperature diverse dalle precedenti precisandone le condizioni al contorno.

9.4.2.3 Pompe di calore con generatore di integrazione termica

Nel caso di pompe di calore con incorporato generatore di integrazione oltre ai dati di cui al punto 9.4.2.2 devono essere forniti i seguenti dati:

nel caso di resistenza elettrica:

- potenza massima [kW];
- gradini di potenza;

nel caso di generatore a combustione:

- tipologia combustibile;
- fluido termovettore;
- potenza termica nominale [kW];
- potenza del focolare [kW];
- temperatura massima e temperatura minima di esercizio [kW];
- gli ulteriori dati per il calcolo del rendimento medio di generazione con il metodo analitico della UNI/TS 11300-2:2008.



9.4.3 Determinazione delle prestazioni a pieno carico in condizioni diverse da quelle dichiarate

9.4.3.1 Generalità

Ai fini della determinazione delle prestazioni a pieno carico in condizioni diverse da quelle dichiarate si prevede di intervenire con interpolazione lineare tra i dati dichiarati o con ricorso al rendimento di secondo principio.

9.4.3.2 Rendimento di secondo principio

Si definisce rendimento di secondo principio il rapporto fra il COP o il GUE effettivo della pompa di calore ed il COP o il GUE massimo teorico COP_{max} o GUE_{max} in base al secondo principio della termodinamica con le medesime temperature di sorgente fredda e del pozzo caldo.

Per le pompe di calore elettriche, il COP massimo teorico si calcola con la formula:

$$COP_{max} = (\theta_c + 273,15)/(\theta_c - \theta_f) \quad (43)$$

dove:

θ_f è la temperatura della sorgente fredda;

θ_c è la temperatura del pozzo caldo (mandata della pompa di calore).

Per le pompe di calore ad assorbimento, il GUE massimo teorico si calcola con la formula:

$$GUE_{max} = (\theta_c + 273,15)/(\theta_{gen,in} + 273,15) \times (\theta_{gen,in} - \theta_f)/(\theta_c - \theta_f) \quad (44)$$

dove:

$\theta_{gen,in}$ è la temperatura del generatore della pompa di calore ad assorbimento a fuoco diretto.

Si forniscono qui le formule di base per i circuiti a compressione di gas:

COP teorico:

$$COP_{th} = (\theta_c + 273,15)/(\theta_c - \theta_f) \quad (45)$$

Rendimento di secondo principio da COP:

$$\eta_{II} = COP/((\theta_c + 273,15)/(\theta_c - \theta_f)) = COP \times (\theta_c - \theta_f)/(\theta_c + 273,15) \quad (46)$$

COP da rendimento di secondo principio:

$$COP = \eta_{II} \times (\theta_c + 273,15)/(\theta_c - \theta_f)$$

Quindi per interpolare fra le diverse temperature di sorgente calda $\theta_{c,1}$ e $\theta_{c,2}$, a parità di temperatura della sorgente fredda θ_f si calcola in sequenza:



Rendimento di secondo principio 1

$$\eta_{II,1} = \text{COP}_1 / ((\theta_{c,1} + 273,15) / (\theta_{c,1} - \theta_f)) \quad (47)$$

Rendimento di secondo principio 2

$$\eta_{II,2} = \text{COP}_2 / ((\theta_{c,2} + 273,15) / (\theta_{c,2} - \theta_f)) \quad (48)$$

Rendimento di secondo principio interpolato

$$\eta_{II,x} = \eta_{II,1} + (\eta_{II,2} - \eta_{II,1}) \times (\theta_{c,x} - \theta_{c,1}) / (\theta_{c,2} - \theta_{c,1}) \quad (49)$$

COP nelle condizioni intermedie

$$\text{COP}_x = \eta_{II,x} \times (\theta_{c,x} + 273,15) / (\theta_{c,x} - \theta_f) \quad (50)$$

Si forniscono qui le formule di base per i circuiti ad assorbimento a fuoco diretto:

GUE teorico

$$\text{GUE}_{th} = (\theta_c + 273,15) / (\theta_{gen,in} + 273,15) \times (\theta_{gen,in} - \theta_f) / (\theta_c - \theta_f) \quad (51)$$

Rendimento di secondo principio da GUE

$$\eta_{II} = \text{GUE} / ((\theta_c + 273,15) / (\theta_{gen,in} + 273,15) \times (\theta_{gen,in} - \theta_f) / (\theta_c - \theta_f)) \quad (52)$$

GUE da rendimento di secondo principio

$$\text{GUE} = \eta_{II} \times (\theta_c + 273,15) / (\theta_{gen,in} + 273,15) \times (\theta_{gen,in} - \theta_f) / (\theta_c - \theta_f) \quad (53)$$

Quindi per interpolare fra le diverse temperature di sorgente calda $\theta_{c,1}$ e $\theta_{c,2}$, a parità di temperatura della sorgente fredda θ_f si calcola in sequenza:

Rendimento di secondo principio 1

$$\eta_{II,1} = \text{GUE}_1 / ((\theta_{c,1} + 273,15) / (\theta_{gen,in} + 273,15) \times (\theta_{gen,in} - \theta_f) / (\theta_{c,1} - \theta_f)) \quad (54)$$

Rendimento di secondo principio 2

$$\eta_{II,2} = \text{GUE}_2 / ((\theta_{c,2} + 273,15) / (\theta_{gen,in} + 273,15) \times (\theta_{gen,in} - \theta_f) / (\theta_{c,2} - \theta_f)) \quad (55)$$

Rendimento di secondo principio interpolato

$$\eta_{II,x} = \eta_{II,1} + (\eta_{II,2} - \eta_{II,1}) \times (\theta_{c,x} - \theta_{c,1}) / (\theta_{c,2} - \theta_{c,1}) \quad (56)$$

GUE nelle condizioni intermedie

$$\text{GUE}_x = \eta_{II,x} \times (\theta_{c,2} + 273,15) / (\theta_{gen,in} + 273,15) \times (\theta_{gen,in} - \theta_f) / (\theta_{c,x} - \theta_f) \quad (57)$$

9.4.3.3 Correzione in base alla temperatura della sorgente fredda

I valori del COP o del GUE per temperature intermedie della sorgente fredda (alla medesima temperatura del pozzo caldo) si calcolano come segue:



- all'interno del campo di dati fornito dal fabbricante: interpolazione lineare del rendimento di secondo principio in funzione della temperatura della sorgente fredda;
- al di fuori del campo di dati fornito dal fabbricante (con scostamento massimo di 5 K): rendimento di secondo principio costante e pari al caso più vicino fornito dal fabbricante.

I valori della potenza utile per temperature intermedie della sorgente fredda (alla medesima temperatura del pozzo caldo) si calcolano come di seguito descritto:

Pompe di calore a compressione:

- all'interno del campo di dati fornito dal fabbricante: interpolazione lineare in funzione della temperatura della sorgente fredda;
- al di fuori del campo di dati fornito dal fabbricante (con scostamento massimo di 5 K): COP calcolato come al punto precedente e moltiplicato per la potenza assorbita costante e pari al caso più vicino fornito dal fabbricante.

Pompe di calore ad assorbimento:

- all'interno del campo di dati fornito dal fabbricante: interpolazione lineare in funzione della temperatura del sorgente fredda;
- al di fuori del campo di dati fornito dal fabbricante (con scostamento massimo di 5 K): GUE calcolato come al punto precedente e moltiplicato per la potenza assorbita costante e pari a quella del caso più vicino fornito dal fabbricante.

Nota Scostamenti maggiori di 5 K dai valori forniti dal fabbricante i risultati derivanti dal calcolo secondo la presente specifica tecnica potrebbero essere inattendibili.

9.4.3.4 Correzione in base alla temperatura del pozzo caldo

I valori del COP o del GUE per temperature intermedie del pozzo caldo (alla medesima temperatura della sorgente fredda) si calcolano come segue:

- all'interno del campo di dati fornito dal fabbricante: interpolazione lineare del rendimento di secondo principio in funzione della temperatura del pozzo caldo;
- al di fuori del campo di dati fornito dal fabbricante (con scostamento massimo di 5 K): rendimento di secondo principio costante e pari al caso più vicino fornito dal fabbricante.

I valori della potenza utile per temperature intermedie del pozzo caldo (alla medesima temperatura della sorgente fredda) si calcolano come descritto di seguito:

Pompe di calore a compressione di vapore:

- all'interno del campo di dati fornito dal fabbricante: interpolazione lineare in funzione della temperatura del pozzo caldo;
- al di fuori del campo di dati fornito dal fabbricante (con scostamento massimo di 5 K): potenza utile costante e pari a quella del caso più vicino fornito dal fabbricante.



Pompe di calore ad assorbimento:

- all'interno del campo di dati fornito dal fabbricante: interpolazione lineare in funzione della temperatura del pozzo caldo;
- al di fuori del campo di dati fornito dal fabbricante (con scostamento massimo di 5 K): GUE calcolato come al punto precedente e moltiplicato per la potenza assorbita costante e pari a quella del caso più vicino fornito dal fabbricante.

9.4.4 Prestazioni a fattore di carico CR ridotto

9.4.4.1 Generalità

A fattore di carico macchina CR minore di 1 ossia quando il carico applicato è minore della potenza massima che la pompa di calore può fornire si ha una variazione di COP o di GUE ed è richiesto un fattore correttivo per determinare le prestazioni della pompa di calore.

Tale fattore correttivo può essere determinato:

- in base ad una elaborazione di dati forniti dal fabbricante;
- in base a modelli di calcolo di default quando tali dati non siano forniti.

9.4.4.2 Fattore correttivo del COP in base al fattore di carico CR per pompe di calore a compressione ed azionamento elettrico

Il fattore correttivo si determina in base ai dati dichiarati secondo il prEN 14825:2010 come specificato nel punto 9.11 quando siano forniti i dati di cui al punto 9.12.1.

In mancanza di tali dati si procede come segue:

(1) Per le pompe di calore a potenza fissa con funzionamento "on/off" si utilizzano le equazioni del prEN 14825:2010 con i relativi valori delle equazioni specificate del prEN 14825:2010 qui di seguito riportate.

Pompe di calore aria/aria, antigelo/aria, acqua/aria:

$$\text{COP}_{A,B,C,D} = \text{COP}_{DC} \times (1 - C_d \times (1 - CR)) \times CR / (C_c \times CR + (1 - C_c)) \quad (58)$$

Pompe di calore aria/acqua, antigelo/acqua, acqua/acqua:

$$\text{COP}_{A,B,C,D} = \text{COP}_{DC} \times CR / (C_c \times CR + (1 - C_c)) \quad (59)$$

dove:

$\text{COP}_{A,B,C,D}$ COP nelle condizioni A, B, C, D secondo prEN 14825:2010;

COP_{DC} COP a pieno carico dichiarato nelle condizioni di temperatura a cui sono riferite le prestazioni a carico parziale;

C_c Fattore di correzione dichiarato. In mancanza di tale dato si assume 0,9;

CR Fattore di carico macchina (capacity ratio).

(2) Per le pompe di calore a gradini come definite dal prEN 14825:2010 si utilizzano le stesse equazioni con le modalità specificate nel prEN 14825:2010.



(3) Per le pompe di calore a potenza variabile in mancanza dei dati previsti dal prEN 14825:2010 si assume un coefficiente correttivo pari a 1 sino al fattore di carico $CR = 0,5$ (o sino al valore minimo di modulazione se questo è diverso da 0,5) e al di sotto di tale valore CR si procede come al punto 1.

9.4.4.3 Fattore correttivo dell'efficienza in base al fattore di carico CR per pompe di calore ad assorbimento a fuoco diretto

In attesa della pubblicazione della nuova versione della UNI EN 12309-2, nella quale saranno indicate procedure di calcolo simili a quelle riportate al punto precedente, l'efficienza di utilizzo GUE delle pompe di calore ad assorbimento funzionanti in condizioni di carico parziale viene calcolata mediante il seguente rapporto.

$$GUE_{F_k} = GUE \times C_d \quad (60)$$

dove:

GUE_{F_k} è l'efficienza corretta per tener conto del funzionamento a carico parziale;

GUE è l'efficienza a pieno carico delle pompe di calore ad assorbimento;

C_d è il coefficiente correttivo legato al fattore di carico F_k . (CR). I valori del coefficiente C_d devono essere dichiarati dal fabbricante secondo le norme pertinenti.

prospetto 26- Coefficiente C_d per unità ad assorbimento on/off

CR	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
C_d	0,68	0,77	0,84	0,89	0,92	0,95	0,97	0,99	1	1

prospetto 27 - Coefficiente C_d per unità ad assorbimento modulanti

CR	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
C_d	0,72	0,81	0,88	0,93	0,97	0,99	1	1	1	1

9.4.5 Correzione per variazione del salto termico sugli scambiatori

Questa correzione viene trascurata.

9.5 Dati per il calcolo

9.5.1 Generalità

La procedura di calcolo del fabbisogno di energia richiede la definizione dei seguenti dati:

- intervallo di calcolo;
- temperatura della sorgente fredda nell'intervallo di calcolo;
- temperatura del pozzo caldo nell'intervallo di calcolo;
- fabbisogno di energia termica utile nell'intervallo di calcolo;

- potenza termica utile massima della pompa di calore nell'intervallo di calcolo;
- fattore di carico della pompa di calore;
- ausiliari elettrici.

9.5.2 Intervalli di calcolo

L'intervallo di calcolo assunto dalla presente specifica tecnica è il mese. In determinati casi un'unica coppia di temperature medie (sorgente fredda e pozzo caldo) riferita all'intero intervallo di calcolo non è adeguata per effettuare una valutazione sufficientemente corretta.

In questi casi il periodo di calcolo viene suddiviso in intervalli di durata minore definiti bin.

La ripartizione in bin si può applicare:

- all'intervallo di calcolo stagionale;
- all'intervallo di calcolo mensile.

Il primo può essere utilizzato solo per valutazioni su base annua generalmente finalizzate per determinare le prestazioni di una determinata pompa di calore in particolari condizioni di esercizio (per esempio come nel prEN 14825:2010 per il calcolo del coefficiente di prestazione medio stagionale SCOP).

Nel caso di calcolo mensile il COP medio stagionale può essere calcolato in base ai COP medi mensili come specificato con le equazioni 9 e 11 del prEN 14825:2010.

La presente specifica tecnica applica la suddivisione in bin, quando richiesta, al mese.

Nel prospetto seguente si indica quando considerare il mese o bin mensili di calcolo.

prospetto 28 - Intervalli di calcolo

Sorgente fredda	Pozzo caldo		
	Aria ¹⁾	Acqua temperatura costante ^a	Acqua temperatura variabile ²⁾
Aria esterna	Bin mensili	Bin mensili	Bin mensili
Aria interna (recupero) a temperatura dipendente dalle condizioni climatiche	Bin mensili	Bin mensili	Bin mensili
Aria interna (recupero), temperatura indipendente dalle condizioni climatiche	Mese	Mese	Mese
Terreno/roccia climaticamente perturbato	Mese	Mese	Mese
Terreno/roccia climaticamente non perturbato	Mese	Mese	Mese
Acqua di mare, di fiume, di lago	Mese	Mese	Mese
Acqua di risulta e liquami di processi tecnologici	Mese	Mese	Mese
Liquami urbani	Mese	Mese	Mese



- 1) Si assume temperatura costante pari alla temperatura ambiente di set point
- 2) La temperatura costante o variabile è riferita alla temperatura del fluido termovettore nel generatore di calore durante l'intervallo di calcolo considerato. Per esempio si ha temperatura costante nel caso di generatore di calore che alimenta la rete a temperatura variabile tramite valvola miscelatrice e temperatura variabile nel caso in cui il generatore alimenti direttamente la rete a temperatura scorrevole. La situazione di temperatura variabile si ha normalmente solo nel caso di riscaldamento.

Nota I bin mensili sono riferiti alle temperature dell'aria esterna.

Secondo quanto specificato nel prospetto 28, si ricorre ai bin mensili:

- per la determinazione delle temperature di alcune sorgenti fredde;
- per la determinazione della temperatura del pozzo caldo se questa è variabile anche quando la temperatura della sorgente fredda sia assunta costante nel mese.

Ciascun bin è definito da un intervallo di temperatura di ampiezza $\Delta\theta_{bin}$ pari ad 1 K.

I bin sono centrati sui valori interi di temperatura e sono identificati dalla temperatura θ_{bin} media.

Temperatura minima di ciascun bin: $\theta_{bin,low} = \theta_{bin} - \Delta\theta_{bin}/2$

Temperatura massima di ciascun bin: $\theta_{bin,up} = \theta_{bin} + \Delta\theta_{bin}/2$

Per ogni bin si definisce $t_{bin,mese}$ il numero di ore con temperatura compresa nell'intervallo di definizione del bin nel mese considerato.

Per esempio nel caso di sorgente fredda costituita da aria esterna $t_{3,2} = 5$ h significa che nel mese di febbraio (mese 2), la temperatura dell'aria esterna è compresa per 5 ore fra 2,5 e 3,5 °C.

In base al prospetto 28 la determinazione dei bin mensili è richiesta per le seguenti sorgenti fredde:

- aria esterna;
- terreno climaticamente perturbato.

I bin mensili per aria esterna si determinano secondo l'appendice G.

Nel caso di sistemi a pompa di calore con sonde geotermiche devono essere considerate le temperature agli scambiatori della pompa di calore definite nel progetto⁵⁾.

9.5.3 Temperatura della sorgente fredda

Aria: Nel caso di aria esterna si assumono i dati mensili della UNI 10349. Nel caso di aria interna (di recupero) la cui temperatura dipenda dall'aria esterna si calcola la temperatura corrispondente alla temperatura dell'aria esterna di ciascun bin come definito al punto precedente. Limitatamente a pompe di calore destinate alla sola produzione di acqua calda sanitaria nel caso di aria interna di recupero da ambienti non riscaldati, la temperatura della sorgente si determina con un bilancio energetico del locale, secondo la UNI/TS 11300-1.

5) "È in corso di elaborazione una norma sulla progettazione delle sonde geotermiche che definisce un metodo per la determinazione di tali temperature".



Acqua, terreno e roccia: per le temperature di acqua, terreno e roccia si deve fare riferimento ai dati di progetto o a dati pubblicati o a rilievi in loco.

I valori di temperatura e i salti termici di progetto devono essere specificati nella relazione tecnica. Le temperature delle sorgenti fredde possono essere diverse da quelle delle fonti, in funzione del tipo di circuito e di sistema impiantistico adottato.

9.5.4 Temperature del pozzo caldo

Le temperature del pozzo caldo coincidono con la temperatura di produzione di acqua calda sanitaria o per riscaldamento degli ambienti (vedere UNI/TS 11300-2:2008) nel caso di condensatore ad espansione diretta.

Negli altri casi le temperature del pozzo caldo si determinano:

- nel caso di riscaldamento di ambienti come indicato nel punto 9.9;
- nel caso di produzione acqua calda sanitaria come indicato nel punto 9.8.

9.5.5 Temperature della sorgente fredda e del pozzo caldo nell' intervallo di calcolo

Per la determinazione delle temperature di sorgente fredda e di pozzo caldo in ciascun intervallo di calcolo (mese o bin mensile) si procede come segue in base ai casi indicati nel prospetto 2:

A) temperatura della sorgente fredda e temperatura del pozzo caldo costanti nel mese.

Il calcolo si effettua su base mensile e si determinano:

- A1 la temperatura della sorgente fredda nel mese considerato;
- A2 la temperatura media del pozzo caldo nel mese.

La potenza termica utile si determina in base alle temperature A1 e A2:

B) temperatura della sorgente fredda variabile nel mese.

Il calcolo si effettua per bin mensili e si determinano:

- B1 le temperature di ciascun bin mensili secondo il punto 9.5.3 e appendice G;
- B2 le corrispondenti temperature del pozzo caldo per ciascun bin.

La potenza termica utile si determina in base alle temperature B1 e B2.

C Temperatura della sorgente fredda costante nel mese e temperatura del pozzo caldo variabile

Il calcolo si effettua per bin mensili e si determinano:

- C1 le temperature di ciascun bin mensile secondo il punto 9.5.3 e appendice G;
- C2 per ciascun bin (aria esterna) la corrispondente temperatura del terreno;
- C3 si calcola per ciascun bin la corrispondente temperatura del pozzo caldo.

La potenza termica utile si determina in base alle temperature C2 e C3.



9.5.6 Fabbisogni mensili di energia termica utile applicati alla pompa di calore

Si calcolano come specificato nel punto 5.

9.6 Ausiliari elettrici

Si considera confine energetico della pompa di calore quello definito dall'unità come fornita per la quale il fabbricante dichiara i dati prestazionali secondo la UNI EN 14511-4. Si considerano compresi nel COP i fabbisogni degli ausiliari elettrici compresi entro tale confine. Devono essere valutati separatamente i fabbisogni degli ausiliari esterni a tale confine e la quota parte di ausiliari a bordo macchina non inclusa nel COP dichiarato dal fabbricante (per esempio la quota di potenza elettrica che eccede quella richiesta in base alla perdita di carico degli scambiatori).

In particolare per gli ausiliari esterni devono essere considerati:

- gli ausiliari della captazione di energia dalla sorgente fredda come di seguito precisato;
- gli ausiliari relativi all'utenza come per esempio eventuali pompe primarie se non comprese nella distribuzione secondo quanto specificato nella UNI/TS 11300-2:2008.

L'estrazione dell'energia dalla fonte può essere realizzata o direttamente, tramite evaporatore ad espansione diretta, oppure indirettamente tramite un fluido termovettore freddo che trasporta il calore dalla fonte all'evaporatore. Nel primo caso la sorgente fredda coincide con la fonte di energia sfruttata, mentre nel secondo caso la sorgente fredda è rappresentata dal fluido termovettore.

L'estrazione dell'energia dalla sorgente fredda può essere realizzata con i dispositivi montati sulla pompa di calore come fornita oppure con circuiti di estrazione esterni dotati di propri ausiliari elettrici. Nel primo caso i fabbisogni di energia elettrica degli ausiliari di estrazione sono compresi nel COP dichiarato della macchina, salvo particolari casi in cui il progetto preveda altri ausiliari. I circuiti di estrazione esterni non compresi nella macchina come fornita devono essere considerati separatamente per ciascun intervallo di calcolo. Nel caso di pompe di calore che utilizzano come fluido termovettore freddo acqua o miscela acqua anticongelante il circuito di estrazione si intende a partire dagli attacchi di ingresso e uscita dell'evaporatore e comprende quindi anche il circuito orizzontale di collegamento agli scambiatori. Nel prospetto seguente si forniscono indicazioni al riguardo per le diverse tipologie.

prospetto 29 – Tipologie di impianti con sistemi di estrazione interni e/o esterni

Sorgente fredda	Estrazione energia da sorgente fredda	Ausiliari esterni di estrazione
Aria	Integrata nel sistema. Il COP comprende il fabbisogno di energia elettrica per l'estrazione.	Circuito canalizzato ausiliario con proprio ventilatore. Il fabbisogno elettrico è da considerare separatamente.
Acqua/miscela acqua -fluido anticongelante	Nel COP della pdc è compresa solo la potenza elettrica assorbita per compensare le perdite di carico nell'evaporatore.	Circuito idraulico ausiliario con propria pompa: il fabbisogno elettrico deve essere considerato separatamente. Circuito idraulico che sfrutta la pompa a corredo della macchina: deve essere considerato separatamente il fabbisogno per



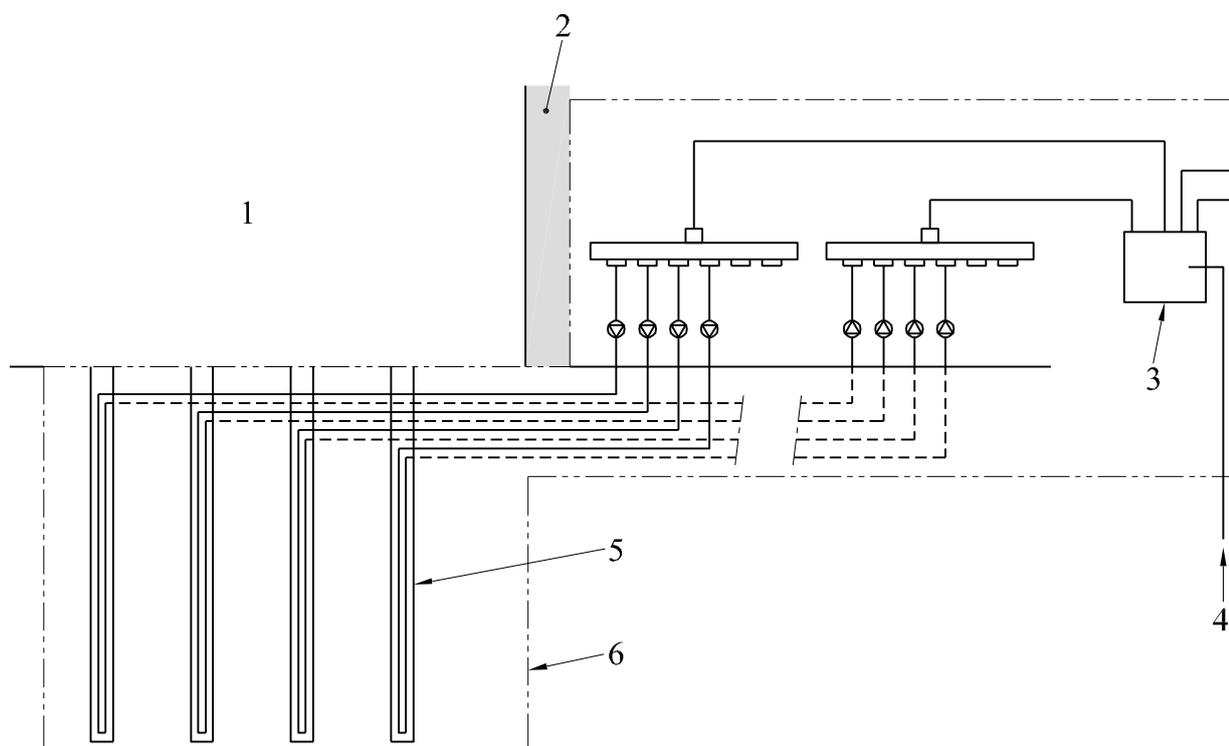
		compensare le sole perdite di carico del circuito esterno.
Terreno/roccia	Integrata nel sistema (espansione diretta). Il COP comprende il fabbisogno di energia elettrica per l'estrazione.	Non presenti

A titolo di esempio nella figura 5 è riportato lo schema di sottosistema di estrazione geotermico con scambiatori verticali nel terreno e di un sistema di estrazione da acqua di falda. Le perdite di distribuzione orizzontale e i fabbisogni di energia elettrica si calcolano come specificato nella UNI/TS 11300-2:2008.

figura 5 - Sottosistema di estrazione geotermico con scambiatori verticali

Legenda

- 1 Ambiente esterno
- 2 Edificio
- 3 Pompe
- 4 Energia elettrica
- 5 Sottosistema di captazione/rigetto
- 6 Confine energetico dell'edificio



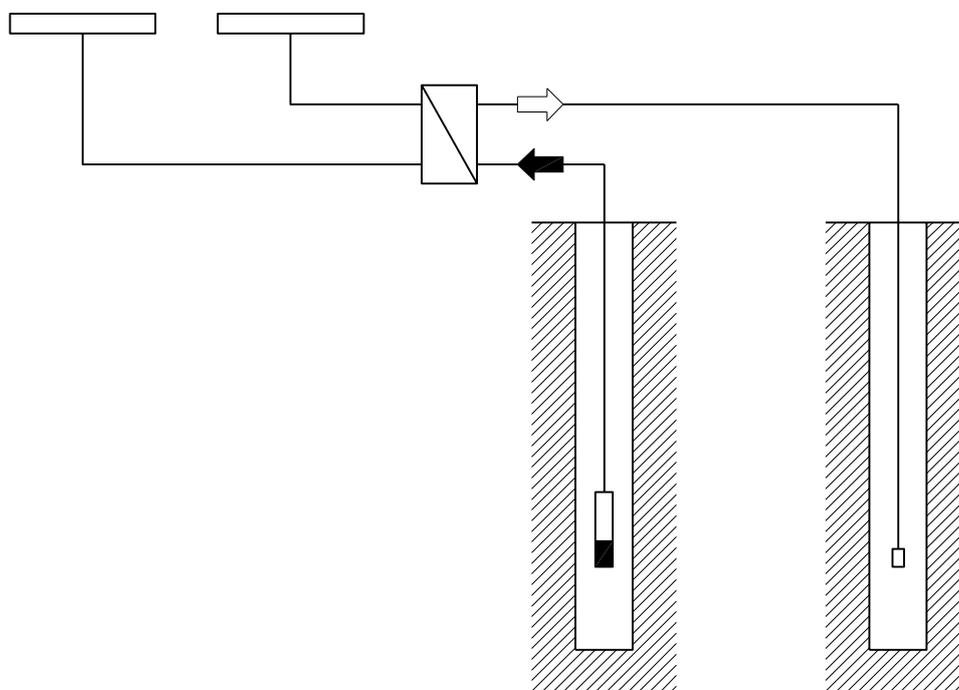
9.7 Generalità sulle procedure di calcolo

9.7.1 Pompe di calore e servizi forniti

Si considerano :

- (a) pompa di calore per sola acqua calda sanitaria;
- (b) pompa di calore per solo servizio riscaldamento;
- (c) pompa di calore per servizio combinato e con circuiti separati per i due servizi ciascuno con proprio compressore (solo riscaldamento per il relativo circuito – servizio 'tutto l'anno' per il circuito acs);
- (d) pompa di calore per servizio combinato (servizio combinato riscaldamento acs – servizio raffrescamento - acs).

figura 6 - Sottosistema di estrazione geotermico da acqua di falda con scambiatore



Nei casi (a), (b) si procede con i metodi descritti nei rispettivi punti.

Nel caso (c) si procede separatamente come sopra per i due servizi.

Nel caso (d) si procede preliminarmente con il calcolo per acqua calda sanitaria secondo il punto 9.9 e successivamente al calcolo per riscaldamento secondo il punto 9.10.

9.7.2 Temperature limite di funzionamento

Sia nel caso di pompa di calore per produzione di acqua calda sanitaria, sia nel caso di pompa di calore per riscaldamento di ambienti si deve tener conto della temperatura $\theta_{w,off}$ o $\theta_{h,off}$ alla quale la pompa di calore viene disattivata dal dispositivo di controllo di temperatura (modalità 'termostato off').

Nel caso di produzione acqua calda sanitaria la temperatura $\theta_{w,off}$ è generalmente compresa tra 45 e 65 °C. Come valore di default si assume 55 °C.

Nel caso di riscaldamento di ambienti la temperatura $\theta_{h,off}$ è definita temperatura di bilanciamento (o di annullamento del carico) e si calcola secondo la UNI/TS 11300-1. Come valore di default si assume 20 °C.



La temperatura limite di funzionamento (sorgente fredda), definita TOL dal prEN 14825:2010, è un dato impostato dal fabbricante e non modificabile quale il limite di temperatura per il blocco della pompa di calore per temperatura minima della sorgente fredda.

La temperatura $\theta_{W,cut-off,min}$ o $\theta_{H,cut-off,min}$ è un dato progettuale in base al quale, ai fini di ottimizzazione energetica (o per evitare il gelo quando si utilizzi come fluido acqua e non soluzione anticongelante) in fase di progetto si può decidere di disattivare la pompa di calore al di sotto di determinata temperatura di sorgente fredda.

La temperatura $\theta_{W,cut-off,max}$ o $\theta_{H,cut-off,max}$ è la temperatura di disattivazione fissata per il pozzo caldo.

Nel caso di valutazione A1 (design rating) il dato deve essere ottenuto dal progetto. Come valore di default, nel caso di valutazioni A2 (asset rating) si assume la temperatura specificata dal fabbricante.

9.8 Pompe di calore per la produzione di acqua calda sanitaria

9.8.1 Generalità

Si distingue tra:

- (a) Pompe di calore che prelevano il calore dall'aria esterna, dal terreno o da sorgenti idrotermiche;
- (b) Pompe di calore che prelevano il calore da ambienti interni riscaldati e scaricano all'esterno l'aria uscente dall'evaporatore.

Per le tutte le pompe di calore per acqua calda sanitaria si considera un periodo di attivazione di 12 mesi (365 giorni/anno).

9.8.2 Pompe di calore per acqua calda sanitaria di tipo (a)

Nel caso sia prevista la ripartizione del fabbisogno mensile in bin si procede come di seguito descritto. Si assume che l'impianto sia dotato di un accumulo congruo. Nel caso in cui sia previsto il calcolo sulla base mensile senza suddivisione in bin si procede per il mese come se si tratti di un singolo bin mensile.

1) Nel caso di calcolo per bin mensili si determinano i bin con la procedura dell'appendice O e si scartano i bin con temperatura della sorgente fredda minore della temperatura $\theta_{W,cut-off}$ prefissata. Si calcola la durata complessiva dei bin rimanenti e si ripartisce il fabbisogno $Q_{W,mese}$ in proporzione alla loro durata.

Nota Caso di pompa di calore per servizio combinato, salvo diversa indicazione progettuale, si assume $\theta_{W,cut-off,min} = \theta_{H,cut-off,min}$.

2) In base alla temperatura di ciascun bin e alla temperatura del pozzo caldo si determina la potenza della pompa di calore $\Phi_{bin,max}$ e il COP_{bin} o GUE_{bin} corrispondente.

3) si calcola la durata teorica di funzionamento della pompa di calore per soddisfare il fabbisogno per acqua calda sanitaria del bin:

$$t_{bin,mese,W,th} = Q_{W,bin,mese} / \Phi_{bin,max,W} \quad [h] \quad (61)$$

Qualora la durata risulti maggiore di quella del bin mese si assumono le ore del bin $t_{bin,j,mese}$

4) si calcola per ciascun bin:

$$- \text{ l'energia termica utile prodotta nel bin } Q_{W,out,bin} = \Phi_{bin,max} \times t_{bin,j,W,mese} \quad (62)$$



5) se il bin si riferisce a mese di attivazione del riscaldamento si calcola l'energia termica utile recuperata dal pozzo di accumulo $Q_{W,s,bin,rbt} = 0,8 \times Q_{W,s,bin,rbt}$ dove le perdite recuperabili sono in funzione dell'ambiente di installazione dell'accumulo, assumendo valore nullo nei mesi di non attivazione.

6) si calcola il fabbisogno di energia in del bin:

$$Q_{W,in,bin} = Q_{W,out,bin}/COP_{bin} \quad (63)$$

oppure $Q_{W,in,bin} = Q_{W,out,bin}/GUE_{bin}$

7) si calcola il fabbisogno di energia elettrica ausiliaria del bin:

$$Q_{W,el,aux,bin} = \Phi_{aux, bin,max} \times t_{bin,j,W,mese} \quad (64)$$

8) si calcola il fabbisogno di energia primaria del bin:

$$Q_{W,p,bin} = f_{p,i} \times Q_{W,in,bin} + f_{p,el} \times Q_{W,el,aux,bin} - Q_{W,s,bin,rbt} \quad (65)$$

Nota Il fattore $f_{p,i}$ è il fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico considerato.

9) si calcola sommando i rispettivi valori dei bin del mese:

- la produzione di energia termica utile mensile

$$Q_{W,out,mese} = \sum Q_{W,out,bin,hp,bin} \text{ [Wh]} \quad (66)$$

- il fabbisogno mensile di energia elettrica della pompa di calore.

$$Q_{W,el,hp,mese} = \sum Q_{W,el,hp,bin} \quad (67)$$

- il fabbisogno mensile di energia primaria

$$Q_{W,p,hp,mese} = \sum Q_{Wp,hp,bin} \quad (68)$$

10) si calcola il fabbisogno di energia termica utile di integrazione:

$$Q_{W, bu,mese} = Q_{W,out,mese} - Q_{W,out,bh,mese} \text{ [Wh]} \quad (69)$$

11) si calcola il fabbisogno di energia primaria del sistema di integrazione:

$$Q_{W, bu,p,mese} \text{ [Wh]} \quad (70)$$

12) si calcola il fabbisogno complessivo di energia primaria del mese sommando il il fabbisogno mensile di energia primaria e il fabbisogno di energia primaria del sistema di integrazione.

9.8.3 Pompe di calore per acqua calda sanitaria di tipo (b)

Apparecchi per la produzione di sola acqua calda sanitaria a pompe di calore con accumulo di idonea capacità da installare in ambiente riscaldato con espulsione all'esterno dell'aria raffreddata dall'evaporatore.

Il fabbricante deve fornire i seguenti dati tecnici:

- portata di acqua (15 – 45) °C riferita a temperatura di ingresso dell'aria a bulbo secco di 20 °C per il periodo di attivazione del riscaldamento e 26 °C al di fuori di tale periodo;
- temperatura massima di uscita dell'acqua [°C];
- portata di aria trattata $P_{boll,aria}$ [m³/h];
- potenza della eventuale resistenza elettrica $W_{boll,aux}$ [W];



- limiti di temperatura di ingresso dell'aria T_{min}/T_{max} [°C];
- fattore di dispersione dell'accumulo K_{boll} [W/K];
- modalità di inserimento della resistenza elettrica: modalità rapida discrezionale/solo back up.

Modalità di calcolo:

1) Per ciascun mese di attivazione del riscaldamento si determina la potenza termica della pompa di calore $\Phi_{W, HP, out}$ assumendo la temperatura ambiente di 20 °C nel periodo di riscaldamento e 26 °C al di fuori di tale periodo. Sia assunta inoltre una temperatura $\theta_{W, off}$ come specificato al punto.

2) Si determina il COP o il GUE della pompa di calore per ciascun mese nelle condizioni specificate al punto precedente.

3) Si determina il numero di ore di funzionamento della pompa di calore nel mese considerato:

$$N_{h, W, mese} = Q_{W, d, in, mese} / \Phi_{W, HP} \quad [h] \quad (71)$$

4) Si determina il fabbisogno mensile di energia nel mese:

$$Q_{W, p, HP, mese} = Q_{W, d, in, mese} / COP \quad [kWh] \quad (72)$$

oppure:

$$Q_{W, p, HP, mese} = Q_{W, d, in, mese} / GUE \quad [kWh] \quad (73)$$

5) Per ciascun mese di attivazione nel periodo di attivazione del riscaldamento si determina l'energia termica utile dispersa nel mese in ambiente e recuperata:

$$Q_{boll, rh} = K_{boll, aria} \times (\theta_{oll, avg} - \theta_{aria, env}) \times 24 \times N_{g, mese} \quad [kWh] \quad (74)$$

e l'energia termica utile prelevata dall'ambiente mensilmente:

$$Q_{boll, l} = 1,2 \times P_{boll, aria} \times 0,25 \times (\theta_{aria, env} -) \times 24 \times N_{g, mese} \quad [kWh] \quad (75)$$

Per ciascun mese di attivazione del riscaldamento si considera il saldo:

$$Q_{HP, rh} = Q_{boll, rh} - Q_{boll, l} \quad [kWh] \quad (76)$$

Nei mesi di attivazione del riscaldamento il valore mensile di $Q_{HP, rh}$ deve essere detratto dal valore mensile di Q_h come specificato nella UNI/TS 11300-2:2008.

6) Nel caso di resistenza elettrica inseribile manualmente per riscaldamento rapido si assume che il boiler sia correttamente dimensionato in base al profilo di carico giornaliero. Eventuali consumi dovuti a resistenze elettriche aggiuntive incorporate, attivate a discrezione dell'utenza, non sono considerate nel calcolo.

7) Il fabbisogno mensile di energia è dato da:

$$Q_{W, p, HP, mese} = Q_{W, p, HP, mese} + Q_{el, aux, mese} \quad [kWh] \quad (77)$$

8) Il fabbisogno di energia nei mesi di attivazione del riscaldamento è dato dalla somma dei fabbisogni di energia determinati in base al punto 7).

9) Per i mesi di non attivazione del riscaldamento si assume la potenza termica utile della pompa di calore calcolata per tale periodo come indicato al punto 1).



10) Si trascura il calcolo di cui al punto 5 e si determina il numero di ore mensili di funzionamento e il relativo fabbisogno di energia mensile come indicato ai punti 3) e 7).

11) Il fabbisogno di energia nei mesi di non attivazione del riscaldamento è dato dalla somma dei fabbisogni del periodo.

12) Il fabbisogno annuo di energia è dato dalla somma dei fabbisogni dei due periodi rispettivamente di attivazione e non attivazione del riscaldamento.

9.9 Pompe di calore per il riscaldamento

9.9.1 Generalità

La valutazione del sottosistema di generazione a pompa di calore prevede due fasi:

- valutazioni preliminari;
- valutazioni di calcolo.

9.9.2 Valutazioni preliminari

La presente specifica tecnica è finalizzata alla verifica dei fabbisogni di energia dei sistemi edificio-impianto e non alla progettazione. Tuttavia ai fini della valutazione delle prestazioni energetiche nel caso di pompe di calore è necessario effettuare alcune valutazioni preliminari in merito alla progettazione tenendo conto di quanto indicato nel punto 5 in merito ai sistemi polivalenti.

In tali valutazioni si deve tenere presente il punto 9.11.1 in merito alle temperature limite di funzionamento.

9.9.3 Dimensionamento e modalità di funzionamento

Questa valutazione riguarda la verifica del dimensionamento della pompa di calore rispetto al carico termico di progetto dell'edificio⁶⁾ e la modalità di esercizio.

La pompa di calore può essere dimensionata:

- (a) per coprire il carico termico di progetto senza alcuna integrazione termica;
- (b) per coprire solo parzialmente il carico termico di progetto con integrazione mediante resistenza elettrica o con altro generatore integrati nella pompa di calore come fornita;
- (c) per essere inserita in impianto nel quale è previsto l'intervento di integrazione con altri sistemi di generazione in base al progetto dell'impianto.

Nei casi (b) e (c) la pompa di calore funziona in modalità bivalente e la temperatura della sorgente fredda alla quale la pompa di calore funziona con fattore di carico $CR = 1$ è definita temperatura bivalente.

In corrispondenza della temperatura bivalente si possono avere le seguenti modalità di funzionamento:

- 1) funzionamento alternato: la pompa di calore viene disattivata al raggiungimento della temperatura bivalente e viene attivato il generatore di integrazione che fornisce tutta la potenza termica fino al carico di progetto;

6) Il carico termico di progetto per riscaldamento si determina secondo la UNI EN 12831.



- 2) funzionamento parallelo: la pompa di calore non viene disattivata al raggiungimento della temperatura bivalente e viene attivato il generatore di integrazione che fornisce la quota residua di potenza termica;
- 3) funzionamento parzialmente parallelo: la pompa di calore non viene disattivata al raggiungimento della temperatura bivalente e per temperature maggiori viene attivato il generatore di integrazione che deve fornire la potenza residua. Alla temperatura $\theta_{H, \text{cut-off}, \text{min}}$ la pompa di calore viene disattivata e tutta la potenza termica richiesta deve essere fornita dal generatore di integrazione.

Nei casi (1) e (3) si deve avere:

$$\Phi_{H, \text{int}} = \Phi'_{H, \text{prog}} \quad [\text{kW}] \quad (78)$$

$\Phi_{H, \text{int}}$ è la potenza termica del sistema di integrazione (o della resistenza elettrica);

$\Phi'_{H, \text{prog}}$ è il carico termico di progetto dell'impianto;

ossia il generatore termico integrativo deve avere una potenza termica utile pari al carico termico di progetto.

Nel caso (2) si deve avere:

$$\Phi_{H, \text{int}} = \Phi'_{H, \text{prog}} - \Phi'_{H, \text{hp}, \text{biv}} \quad [\text{kW}] \quad (79)$$

$\Phi_{H, \text{int}}$ è la potenza termica del sistema di integrazione (o della resistenza elettrica);

$\Phi'_{H, \text{prog}}$ è il carico termico di progetto dell'impianto;

$\Phi'_{H, \text{hp}}$ è la potenza termica della pompa di calore nella condizione bivalente.

La modalità di funzionamento deve essere specificata nella relazione tecnica.

Nel diagramma della figura 7 il carico termico dell'impianto è indicato in funzione della temperatura dell'aria esterna con la linea (1) con ascissa dalla temperatura di progetto alla temperatura di bilanciamento.

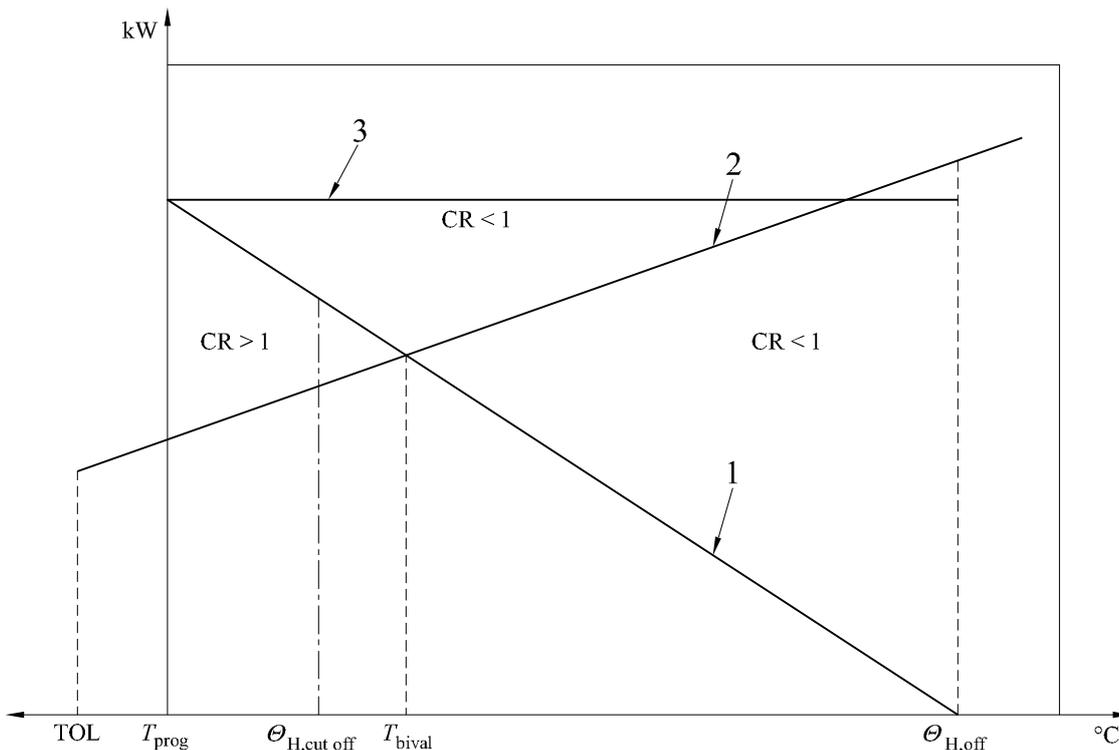
La linea (a) si riferisce a pompa di calore aria/acqua o aria/aria e rappresenta la potenza massima della pompa di calore in base alla temperatura dell'aria esterna. Il punto di intersezione tra il carico impianto (1) e la potenza termica massima della pompa di calore rappresenta la temperatura definita bivalente ossia la temperatura alla quale il fattore di carico della pompa di calore (CR = capacity ratio) è pari a 1.

Come evidenziato nella figura 7 si deve tenere presente che il dimensionamento della pompa di calore con una temperatura bivalente pari alla temperatura di progetto dell'impianto o comunque a temperatura più bassa della temperatura bivalente amplia il campo nel quale la pompa di calore funziona a carico parziale con fattore di carico $CR < 1$. Ciò può determinare una riduzione del COP o del GUE nel caso di pompe di calore a punto fisso con funzionamento on/off.

figura 7 – Impianto a pompa di calore (riscaldamento di ambienti)

Legenda

- 1 Carico termico impianto
- 2 Potenza termica della p.d.c a
- 3 Potenza termica della p.d.c costante b



Sistemi geotermici a bassa entalpia

Nel caso di sorgente fredda geotermica i dati di dimensionamento del sistema di estrazione di energia a bassa entalpia devono essere indicati nel progetto.

9.9.4 Valutazioni di calcolo

9.9.4.1 Fabbisogno di energia termica utile all'intervallo di calcolo

Nel caso in cui secondo il prospetto 28 si effettui il calcolo su base mensile si considera il fabbisogno $Q_{gn, hp, out, mese}$.

Nel caso sia prevista la ripartizione del fabbisogno mensile in bin si procede come di seguito descritto. La ripartizione del fabbisogno di energia mensile si effettua come segue:

- calcolare i gradi/ora $GH_{bin, mese}$ con riferimento alla durata totale di attivazione dell'impianto e scartando i bin a temperatura maggiore della temperatura $\theta_{H, off}$

$$GH_{bin, mese} = t_{bin, mese, ON} \times (\theta_{H, off} - \theta_{bin}) \quad (80)$$

calcolare l'energia per riscaldamento richiesta all'uscita della pompa di calore, per ciascun bin come:



$$Q_{H, hp, out, bin} = Q_{H, hp, out} \cdot \frac{GH_{bin, mese}}{\sum GH_{bin, mese}} \quad [Wh] \quad (81)$$

calcolare la potenza richiesta per riscaldamento all'uscita della pompa di calore, per ciascun bin $\Phi_{H, hp, out, bin}$:

$$Q_{H, hp, out, bin} = \frac{Q_{H, hp, out, bin}}{t_{bin, mese, H}} [W] \quad (82)$$

Calcolo della temperatura di mandata della pompa di calore.

Si determina quindi per ciascun intervallo di calcolo (mese o bin) la temperatura del pozzo caldo a seconda che si tratti di fluido termovettore acqua (a) o aria (b).

Per la determinazione del fattore di carico nel caso di calcolo per intero mese si assume la temperatura esterna media mensile e nel caso di calcolo per bin mensili si assume la temperatura dell'aria esterna del bin mensile considerato.

Sistemi con fluido termovettore acqua.

Per ciascun bin, si determina la temperatura di mandata (pozzo caldo) richiesta in funzione di:

- potenza media richiesta dalle unità terminali (pannelli, ventilconvettori, radiatori);
- potenza delle unità terminali in condizioni di progetto secondo i dati dichiarati in base alle specifiche norme di prodotto;
- tipo e modalità di regolazione delle unità terminali;
- tipo di circuiti idraulici di distribuzione;
- tipo di connessione e di circuito idraulico della pompa di calore.

secondo quanto specificato nella UNI/TS 11300-2:2008.

(b) sistemi a condensazione diretta (fluido termovettore aria).

Nel caso di sistemi che trattano solo aria ricircolata si assume una temperatura di entrata nel condensatore fissa pari a quella di set-point ambiente (per esempio 20 °C nel caso di edifici E1).

Qualora la pompa di calore tratti aria di ventilazione si assume la temperatura dell'aria esterna in base ai bin del mese se si tratta di ventilazione a semplice flusso. Nel caso di ventilazione a doppio flusso con recupero si assume la temperatura di ciascun bin del mese tenendo conto del rendimento del recuperatore (UNI/TS 11300-1).

Nel caso in cui una quota di aria esterna sia miscelata con l'aria di ricircolo direttamente all'ingresso del condensatore si assume la temperatura di miscela di ciascun bin del mese calcolata in base alle portate e temperature di aria esterna e ricircolata.



9.9.4.2 Calcolo del fattore di carico della pompa di calore

Per ciascun intervallo di calcolo si determina la potenza media $\Phi_{Hd,in,bin} = Q_{gn, out, bin}/t_{bin}$ e il fattore di carico CR della macchina come rapporto tra la potenza termica richiesta $\Phi_{Hd,in,bin}$ nel bin e la potenza massima della pompa di calore per le temperature dell'intervallo di calcolo $\Phi_{H,in,max,bin}$.

$$FC_{H,hp,th} = \frac{\Phi_{H,hp,out,bin}}{\Phi_{bin,max,H}} \quad [-] \quad (83)$$

In base al fattore di carico CR si possono presentare i seguenti casi (vedere figura 7):

- Il fattore di carico CR è maggiore di 1 e la temperatura di sorgente fredda è maggiore della temperatura $\theta_{cut-off, min}$. In questo la pompa di calore funziona a pieno carico ma non è in grado di fornire la potenza richiesta e deve intervenire il sistema di integrazione.
- Il fattore di carico CR è pari ad 1. In questo caso la pompa di calore funziona a pieno carico e il COP o il GUE è quello corrispondente a pieno carico di seguito indicato con COP' (punto bivalente).
- Il fattore di carico CR è minore di 1. In questo caso la pompa di calore è in grado di fornire tutta l'energia termica utile richiesta ma funziona parzializzata e il COP' o il GUE' deve essere corretto come specificato nel punto 9.7.
- La temperatura di sorgente fredda è $\leq \theta_{cut-off,min}$. In questo la pompa di calore viene disattivata e tutta l'energia termica utile richiesta deve essere fornita dal sottosistema di integrazione.
- La temperatura di sorgente fredda è \leq temperatura limite TOL. Anche in questo la pompa di calore viene disattivata e, qualora si abbia un fabbisogno, tutta l'energia termica utile richiesta deve essere fornita dal sottosistema di integrazione.

9.9.4.3 Calcolo dei fabbisogni di energia

Il calcolo dei fabbisogni di energia in ingresso si effettua in base al fattore di carico CR tenendo conto delle temperature $\theta_{cut-off min}$ TOL e $\theta_{H,off}$ in merito alle quali fare riferimento alla figura 7.

Per ciascun intervallo di calcolo (mese o bin):

- Se il fattore di carico CR è minore o uguale a 1 e la temperatura è maggiore di $\theta_{cut-off}$ la pompa di calore è attivata e in grado di fornire tutta la potenza termica richiesta nel bin ma funziona a carico parziale e il COP' o il GUE' deve essere corretto secondo il punto 6.2.2.

$$COP = f_{corr,COP} \times COP' \quad [-] \quad (84)$$

$$GUE = f_{corr,COP} \times GUE' \quad [-] \quad (85)$$

la produzione di energia termica utile della pompa di calore è:

$$Q_{H, hp,out, bin (i)} = (\Phi_{H,hp,max,bin(j)} \times t_{h,H,bin (j)}) \times CR(i) \quad [Wh] \quad (86)$$



e il fabbisogno di energia/consumo) è:

$$Q_{H, p, hp, out, bin(j)} = ((\Phi_{H, hp, max, bin(j)} \times t_{h, H, bin(j)}) \times CR(j))/COP(i) \quad [Wh] \quad (87)$$

$$Q_{H, p, hp, out, bin(j)} = ((\Phi_{H, hp, max, bin(j)} \times t_{h, H, bin(j)}) \times CR(j))/GUE(i) \quad [Wh] \quad (88)$$

Il fabbisogno degli ausiliari elettrici esterni alla pompa è:

$$Q_{H, hp, aux, out, bin(j)} = W_{H, hp, aux} \times t_{h, H, bin(j)} \times CR(j) \quad [Wh] \quad (89)$$

Il fabbisogno di energia termica utile di integrazione è nullo.

(b) Se il fattore di carico CR è maggiore di 1 e la temperatura del pozzo freddo è maggiore di $\theta_{cut-off}$ la pompa di calore è attivata e in grado di fornire solo una quota della potenza termica richiesta pur funzionando a piena potenza.

Si ha fattore di carico $CR > 1$ e quindi il $COP = COP'$ oppure $GUE = GUE'$

la produzione di energia termica utile della pompa di calore è:

$$Q_{H, hp, out, bin(j)} = \Phi_{H, hp, max, bin(j)} \times t_{h, H, bin(j)} \quad [Wh] \quad (90)$$

e il fabbisogno di energia è:

$$Q_{H, p, hp, out, bin(j)} = ((\Phi_{H, hp, max, bin(j)} \times t_{h, H, bin(j)}) \times /COP'(i) \quad [Wh] \quad (91)$$

$$Q_{H, p, hp, out, bin(j)} = ((\Phi_{H, hp, max, bin(j)} \times t_{h, H, bin(j)}) \times /GUE'(i) \quad [Wh] \quad (92)$$

Il fabbisogno degli ausiliari elettrici esterni alla pompa è:

$$Q_{H, hp, aux, out, bin(j)} = W_{H, hp, aux} \times t_{h, H, bin(j)} \quad [Wh] \quad (93)$$

Il fabbisogno di energia termica utile di integrazione è:

$$Q_{H, d, int, bin(j)} = Q_{H, d, in, bin(j)} - Q_{H, hp, out, bin(j)} \quad [Wh] \quad (94)$$

Tale fabbisogno deve essere attribuito ad altri sottosistemi di generazione e il relativo consumo calcolato con i pertinenti metodi della presente specifica tecnica compreso il fabbisogno dei relativi ad ausiliari elettrici.

(e) La pompa di calore è disattivata e quindi tutta la potenza termica deve essere fornita dall'integrazione.

Si determina:

- il fabbisogno di energia termica utile che deve essere fornito dal sottosistema di generazione ausiliario $Q_{d, in, h, f}$ e la potenza media del bin;
- il fabbisogno di energia (consumo) richiesto dal sottosistema ausiliario nel caso di generatori a combustibili liquidi e gassosi secondo la UNI/TS 11300-2:2008 e assumendo per l'energia elettrica il fattore di conversione della presente specifica tecnica.

Nota 1 Questa situazione non sussiste quando la pompa di calore funziona per tutto il periodo di attivazione dell'impianto. In questo caso si ha rispettivamente a seconda del fattore CR il funzionamento della sola pompa di calore o il funzionamento contemporaneo della pompa di calore e del sottosistema di integrazione.

Nota 2 Ai fini di semplificazione del calcolo del consumo, tenuto conto che tutti i bin che rientrano in questi casi sono riferiti a temperature minori di un valore limite ($\theta_{H, cut off}$ o TOL) i fabbisogni di energia termica utile possono essere sommati ai fini del calcolo del sottosistema di generazione:



$$Q_{d,in,h,f} = \sum Q_{d,in,f}(j) \quad [\text{Wh}] \quad (95)$$

$$N_{h,f} = \sum N_{h,f}(j) \quad [\text{h}] \quad (96)$$

Il calcolo si effettua sulla base della potenza media e della temperatura di pozzo caldo medie del periodo.

(f) La pompa di calore è disattivata per annullamento del carico.

9.9.4.4 Calcolo su base mensile

Fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento:

$$Q_{H, hp, out, mese} = \sum Q_{H, hp, out, bin}(j) \quad [\text{Wh}] \quad (97)$$

Produzione di energia termica utile della pompa di calore

$$Q_{H, hp, out, mese} = \sum Q_{H, hp, out, bin}(j) \quad [\text{Wh}] \quad (98)$$

Consumo della pompa di calore (vettore energetico)

$$Q_{H, hp, aux, out, mese} = \sum Q_{H, hp, aux, out, (j)} \quad [\text{Wh}] \quad (99)$$

Fabbisogno di energia termica utile per integrazione

$$Q_{H, d, int, mese} = \sum Q_{H, d, int, mese} \quad [\text{Wh}] \quad (100)$$

Consumo per l'integrazione (vettore energetico)

$$Q_{H, d, int, mese} = \sum Q_{H, d, int, (j)} \quad [\text{Wh}] \quad (101)$$

Consumo degli ausiliari elettrici della pompa di calore

$$Q_{H, hp, aux, out, mese} = \sum Q_{H, hp, aux, out, (j)} \quad [\text{Wh}] \quad (102)$$

Consumo degli ausiliari elettrici del sistema di integrazione

$$Q_{H, d, int, bin, mese} = \sum Q_{H, d, int, bin, (j)} \quad [\text{Wh}] \quad (103)$$

9.10 Pompe di calore per servizio combinato

- si esegue il calcolo per acqua calda sanitaria come specificato nel punto 9.1.2.1 e si determinano per ciascun bin le ore di funzionamento per acqua calda sanitaria $t_{bin, mese, W}$;
- si determina per ciascun bin la durata utile per il riscaldamento:

$$t_{bin, mese, H} = t_{bin, mese} - t_{bin, mese, W} \quad [\text{h}] \quad (104)$$

- si procede al calcolo per riscaldamento assumendo la durata utile per ciascun bin determinata con l'equazione (60).

9.11 Calcolo del fattore correttivo del COP ai diversi fattori di carico CR (pompe di calore a compressione ed azionamento elettrico)

9.11.1 Dati richiesti per il calcolo dal prEN 14825:2010

Il presente metodo di calcolo si applica a pompe di calore a compressione di vapore ed azionamento elettrico aria/aria, aria/acqua, acqua/acqua quando per lo specifico modello di pompa di calore siano disponibili i dati relativi al clima di riferimento A (average) richiesti nel prEN14825:2010 ai fini del calcolo del valore SCOPnet.



Sono richiesti:

- temperatura di progetto del clima A: - 10 °C;
- fattore di carico climatico (PLR) per le temperature di aria esterna nei tre punti considerati: -7 °C (A), + 2 °C (B), + 7 °C (C), + 12 °C (D) calcolato assumendo la temperatura di progetto e un valore di temperatura di annullamento del carico pari a 16 °C;
- temperatura del pozzo caldo: 35 °C o 45 °C (mandata a temperatura costante);
- COP nelle condizioni di parzializzazione A, B, C, D.

In aggiunta si richiede per il modello di pompa di calore considerato:

- temperatura bivalente considerata (valore di riferimento – 7 °C) e potenza termica a pieno carico alla temperatura bivalente;
- potenza termica utile a pieno carico $DC'(j)$ e corrispondente $COP'(j)$ nelle quattro condizioni di temperatura dell'aria esterna A, B, C, D.

9.11.2 Procedura di calcolo

1) Si assume che per DC_{biv} il fattore di carico CR è 1 e si determina la potenza termica alla temperatura di progetto come segue:

$$P_{designh} = DC_{biv} / PLR = DC_{biv} \times [(T_{desh} - 16)/(T_{bival} - 16)] \quad [Wh] \quad (105)$$

2) Si calcolano i fattori di carico della pompa di calore CR nelle quattro condizioni A, B, C, D come segue:

$$CR(j) = [(PLR(j) \times P_{designh})/DC'(j)] \quad [-] \quad (106)$$

ove l'indice j si riferisce alle quattro condizioni A, B, C, D

3) Si calcola il fattore correttivo nelle suddette quattro condizioni:

$$f_{COP}(j) = COP(j)/COP'(j) \quad [-] \quad (107)$$

Per T_{bival} il fattore di carico CR e il fattore correttivo risultano pari ad 1. Per valori della temperatura dell'aria minori di $T_{bivalente}$ i fattori di carico risultano maggiori di 1 e i fattori correttivi pari ad 1.

4) Si assumono i fattori correttivi $f_{COP}(j)$ riferendoli ai rispettivi fattori di carico $CR(j)$.

5) Le coppie di punti $CR(j)$, $f_{COP}(j)$ consentono di definire l'andamento del fattore correttivo in funzione del fattore di carico CR da utilizzare nella procedura di calcolo secondo la presente specifica tecnica. I dati per fattori di carico intermedi si determinano per interpolazione lineare.

Per facilitare la lettura i dati del calcolo sono riportati nel prospetto seguente.



prospetto 30 – Dati di calcolo

		A T_{bival}	B	C	D
Temperature di riferimento	-10°C	-7°C	2°C	7°C	12°C
PLR (T des = -10°)	100%	88%	54%	35%	15%
Potenza DC a pieno carico		DC_A = DC_{bival}	DC_B	DC_C	DC_D
COP a carico parziale		COP_A	COP_B	COP_C	COP_D
COP a pieno carico		COP'_A	COP'_B	COP'_C	COP'_D
CR	>1	1	$(0,54 \times P_{des}) / DC_B$	$(0,35 \times P_{des}) / DC_C$	$(0,15 \times P_{des}) / DC_D$
fattore correttivo F_p	1	1	COP_B / COP'_B	COP_C / COP'_C	COP_D / COP'_D
PLR = part load ratio ossia fattore di carico climatico CR = fattore di carico della pompa di calore DC = potenza a pieno carico alle temperature indicate DC _{bival} = potenza a pieno carico a -7/35 °C P _{designh} = a pieno carico con clima A COP = COP a carico CR alle stesse condizioni di temperatura di COP' COP' = COP a pieno carico alle stesse condizioni di temperatura di COP					

Il fattore di correzione del COP determinato in funzione del fattore di carico CR con il metodo qui descritto è indipendente dalla temperatura di annullamento del carico qui assunta pari a 16 °C in quanto dipende solo dal fattore di carico CR e quindi può essere applicato in tutte le condizioni di funzionamento nel calcolo secondo UNI/TS 11300.



10 Teleriscaldamento

10.1 Generalità

Il presente punto riguarda gli edifici allacciati a reti di urbane di teleriscaldamento.

Un sistema di teleriscaldamento deve soddisfare contestualmente le seguenti condizioni:

- collocazione ed esercizio coordinato con la programmazione infrastrutturale ed energetica dell'ente locale competente, in forza di autorizzazione e concessione;
- destinazione a favore di un comparto urbano già esistente o in via di insediamento o programmato dall'ente locale competente, anche se su iniziativa privatistica, al fine di alimentare una pluralità di edifici appartenenti a soggetti diversi mediante una rete di trasporto dell'energia termica posata prevalentemente in suolo pubblico;
- predisposizione di una rete aperta ovvero che nei limiti di capacità del sistema consentirà l'allacciamento alla rete di ogni potenziale cliente secondo principi di non discriminazione e di servizio universale;
- disciplina della somministrazione di energia termica ai clienti soggetti richiedenti comprensiva di condizioni tecniche ed economiche di fornitura ed improntata al rispetto dei criteri di non discriminazione, di trasparenza e di servizio universale.

Sono esclusi i sistemi di riscaldamento di quartiere costituiti da centrale termica a combustibile fossile destinata a servire più edifici che sono trattati nella UNI/TS 11300-2:2008. Nel caso in cui la fornitura di energia termica utile sia fornita da un soggetto distinto dalla proprietà degli immobili serviti, è compito di tale soggetto fornire il fattore di conversione di conversione in energia primaria.

Ai fini della presente specifica si considerano le seguenti due parti:

1) Sistema a rete: comprende la centrale di generazione e la rete di distribuzione sino al punto di consegna all'utenza.

2) Sottostazione di scambio termico: è elemento di collegamento tra la rete di distribuzione (circuito primario) e l'utenza (circuito secondario)

La sottostazione può essere:

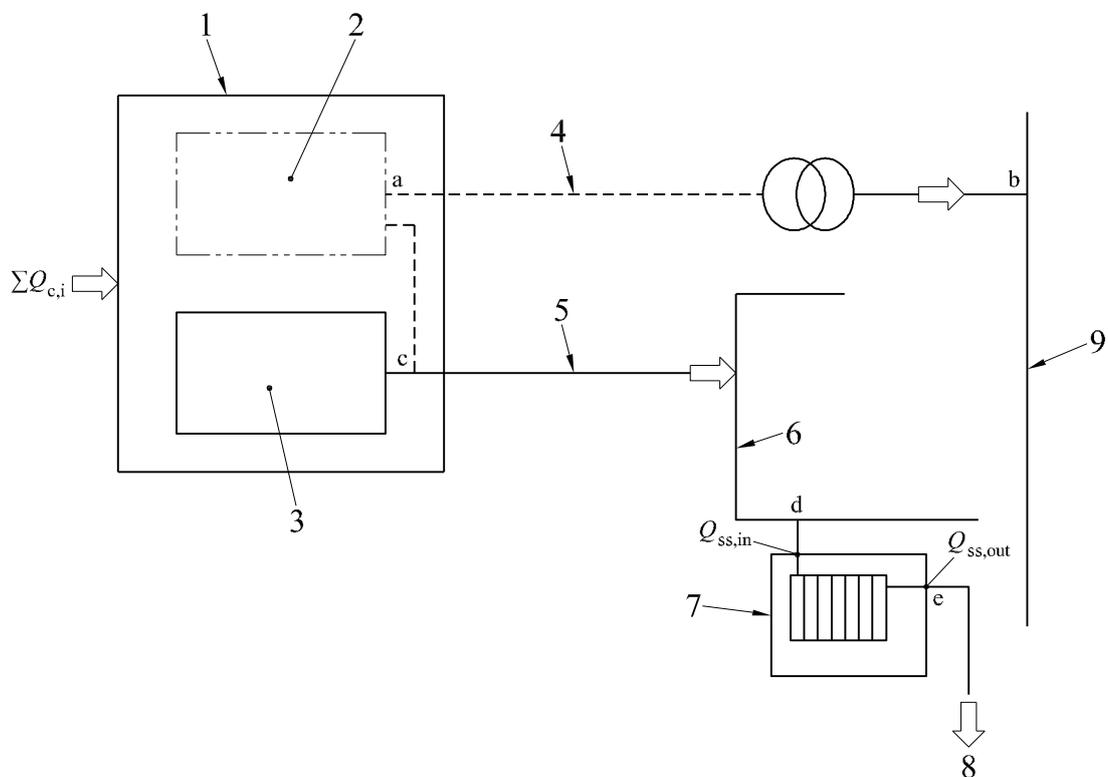
- a sistema diretto nel caso non vi sia separazione idraulica tra circuito primaria e secondario;
- a sistema indiretto nel caso in cui il collegamento tra primario e secondario preveda uno o più scambiatori di calore a superficie.

Con riferimento allo schema della figura 8, la UNI/TS 11300-1 è quella sino al punto di consegna dell'energia termica alla sottostazione indicato con la lettera d.

figura 8 - Schema di un sistema di teleriscaldamento

Legenda

- 1 Centrale di produzione della rete
- 2 Cogenerazione
- 3 Combustione a fiamma
- 4 Perdite elettriche Q elettrica
- 5 Perdite termiche Q termica
- 6 Rete teleriscaldamento
- 7 Sottostazione di scambio termico
- 8 Energia termica della rete dell'impianto termico
- 9 Rete elettrica



Di seguito sono definite le modalità di calcolo:

- delle perdite termiche della sottostazione di scambio termico;
- del fabbisogno di energia termica che deve essere fornita dalla rete all'ingresso della sottostazione per soddisfare il fabbisogno di energia che deve essere fornito in uscita dalla sottostazione;
- del fabbisogno di energia primaria della sottostazione.

10.2 Metodo di calcolo

10.2.1 Generalità

Il calcolo di seguito descritto riguarda il tratto dal punto di consegna dell'energia all'ingresso della sotto stazione (punto d) al punto di uscita dell'energia dalla sottostazione (punto e) indicati nella figura 8.

La procedura di calcolo dal punto di uscita dell'energia della sottostazione (punto e) in avanti è quella descritta nella UNI/TS 11300-2:2008.

La sottostazione di scambio termico è composta da:

- scambiatore di calore;
- contatore di calore;
- sistemi di regolazione e controllo;
- dispositivi di protezione;
- mantello di protezione.

Il contatore di calore misura l'energia termica fornita al circuito primario dello scambiatore (punto di consegna d) $Q_{ss,in}$.

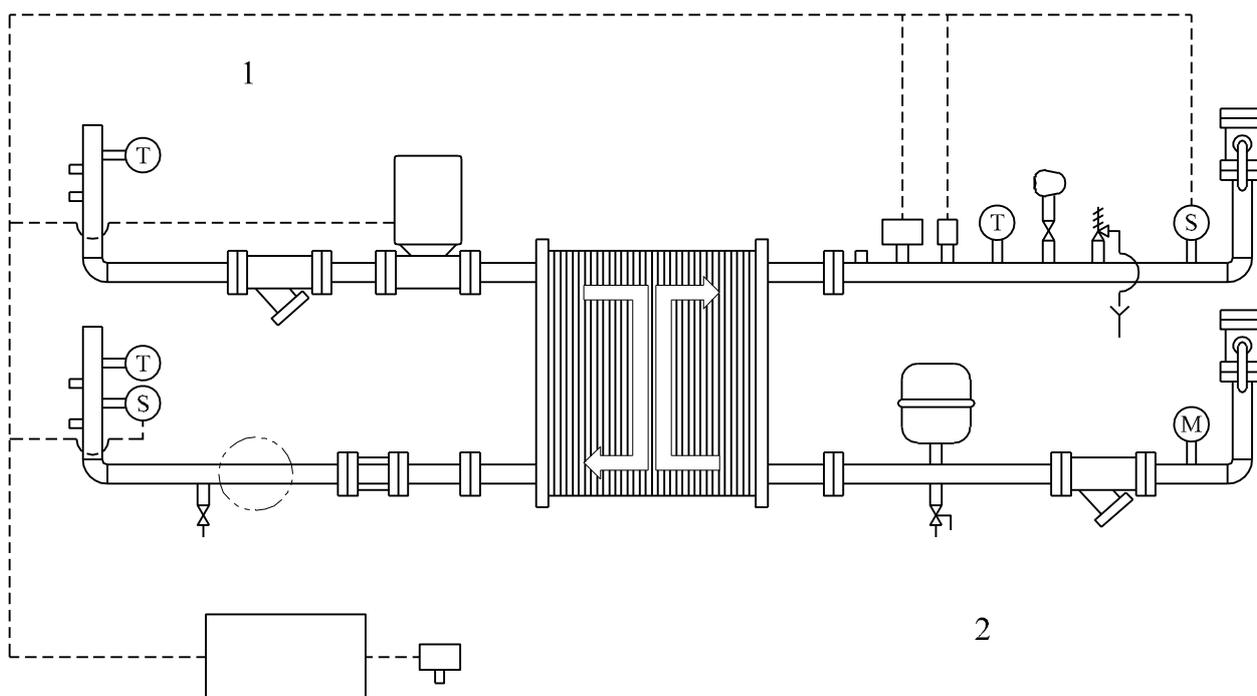
La misurazione dell'energia termica utile fornita all'utenza è determinata in base alla portata d'acqua transitata nello scambiatore e al salto termico di temperatura fra ingresso ed uscita dello scambiatore stesso.

figura 9 - Sottostazione di scambio termico

Legenda

1 Primario

2 Secondario





10.2.2 Bilancio termico della sottostazione

L'energia termica fornita alla distribuzione dell'impianto di riscaldamento nel periodo di calcolo è data da:

$$Q_{ss,out} = Q_{ss,in} - Q_{l,ss,env} \quad [\text{kWh}] \quad (108)$$

dove:

$Q_{ss,out}$ energia termica in uscita dalla sottostazione fornita al sottosistema di distribuzione dell'impianto (secondario dello scambiatore) [kWh];

$Q_{ss,in}$ energia termica in entrata alla sottostazione (primario dello scambiatore) [kWh];

$Q_{l,ss,env}$ energia termica dispersa dalla sottostazione in ambiente [kWh].

Una quota delle perdite in ambiente è recuperabile. Quando le perdite sono recuperate l'energia termica utile fornita all'edificio è:

$$Q'_{ss,out} = Q_{ss,out} + Q_{ss,rhl} \quad [\text{kWh}] \quad (109)$$

dove :

$Q_{ss,rhl}$ sono le perdite recuperate [kWh].

10.2.3 Fabbisogni di energia termica utile e perdite d'impianto

Si calcola come indicato nel punto 12.

10.2.4 Perdite di potenza termica della sottostazione in ambiente

Qualora il fornitore della sottostazione fornisca il fattore di perdita della sottostazione K_{ss} la potenza termica dispersa in ambiente dalla sottostazione si calcola come segue:

$$\Phi_{l,ss,env} = K_{ss} \times (\theta_{ss,w,avg} - \theta_{a,ss}) / 1000 \quad [\text{kW}] \quad (110)$$

dove:

K_{ss} fattore di perdita della sottostazione [W/K];

$\theta_{ss,w,avg}$ temperatura media del fluido nella sottostazione intesa come media aritmetica della temperatura di andata e ritorno del circuito primario riportate nel progetto o sulla targa dello scambiatore [°C].
Qualora non siano noti tali valori si faccia riferimento al prospetto 33;

$\theta_{a,ss}$ temperatura dell'ambiente ove è installata la sottostazione [°C].

La quota di potenza termica recuperabile si calcola come segue:

$$\Phi_{ss,rhl} = (1 - K_{ss,env}) \times \Phi_{ss,env} \quad [\text{kW}] \quad (111)$$

dove:

$K_{ss,env}$ fattore di recupero delle perdite da prospetto 32.

Quando il fattore di perdita K_{ss} non è disponibile la percentuale di potenza termica persa nelle condizioni di esercizio si calcola come segue:

$$P_{ss,env} = P'_{ss,env} \times (\theta_{ss,w,avg} - \theta_{a,ss}) / (\theta_{ss,w,rif} - \theta_{a,test}) \quad [\%] \quad (112)$$

dove:

$$P'_{ss,env} = C_2 - C_3 \times \log \Phi_{ss} \quad [\%] \quad (113)$$

$C_2 - C_3$ fattori da prospetto 31;

Φ_{ss} potenza nominale della sottostazione da libretto di centrale⁷⁾ [kW];

$\theta_{ss,w,rif}$ Temperatura media di riferimento del fluido termovettore nella sottostazione [°C];

$\theta_{a,rif}$ Temperatura di riferimento del locale ove è installata la sottostazione [°C].

prospetto 31 - Valori dei coefficienti e temperature di riferimento per il calcolo delle perdite di default

Coefficienti	C_2	C_3
	2,24	0,57
Temperatura media di riferimento $\theta_{ss,w,rif}$	85	
Temperatura media di riferimento $\theta_{a,rif}$	20	

prospetto 32 - Fattori di correzione delle perdite della sottostazione

Ubicazione della sottostazione	$K_{ss,env}$	$\theta_{a,test}$	$\theta_{a,ss}$
Sottostazione in centrale termica	0,3	20	15
Sottostazione in ambiente riscaldato	0	20	20
Sottostazione all'esterno	1	20	T media est.

prospetto 33 - Temperature medie del fluido termovettore primario

Rete ad acqua calda bassa temperatura	70 °C
Rete ad acqua surriscaldata	90 °C

10.2.5 Perdite di energia della sottostazione in ambiente

Le perdite di energia in ambiente nel periodo di calcolo considerato sono date da:

$$Q_{l,ss,env} = \Phi_{l,ss,env} \times t_{ss} \quad [\text{kWh}] \quad (114)$$

dove:

t_{ss} è il numero di ore di attivazione dell'impianto nel periodo considerato [h].

Ai fini del calcolo delle perdite si considera la temperatura media del fluido termovettore costante durante tutto il tempo di attivazione dell'impianto.

7) In mancanza di dato si assume la potenza termica prevista nel contratto di fornitura



10.2.6 Perdite di regolazione

Si considerano nulle le perdite di regolazione della sottostazione.

10.2.7 Fabbisogno di energia degli ausiliari elettrici

Non si considera fabbisogno di energia ausiliaria poiché la circolazione sul primario dello scambiatore è assicurata dalla rete di teleriscaldamento. La circolazione sul secondario è realizzata con pompa primaria dimensionata secondo quanto specificato dal fornitore della sottostazione.

Il calcolo del fabbisogno di energia elettrica nel periodo considerato si effettua come indicato nella UNI/TS 11300-2:2008, attribuendo il fabbisogno al sottosistema di generazione nel caso di pompa primaria ed a quello di distribuzione nel caso di pompa secondaria (o di unica pompa di circolazione).

10.2.8 Fabbisogno di energia dalla rete di teleriscaldamento

Il fabbisogno di energia richiesto nel periodo di calcolo alla rete di teleriscaldamento è:

$$Q_{ss,in} = Q_{d,in} + Q_{l,ss,env} + Q_{l,ss,c} \quad [\text{kWh}] \quad (115)$$

10.2.9 Fattore di conversione dell'energia termica in energia primaria

Il fattore di conversione dell'energia termica in energia primaria è dato da:

$$f_{p,tel} = (\sum f_{p,i} \times Q_{i,p,in} - \sum f_{p,i} \times Q_{i,exp}) / \sum Q_{i,ss,in} \quad [-] \quad (116)$$

dove:

- $\sum f_{p,i} \times Q_{i,p,in}$ è la somma dell'energia primaria utilizzata dal sistema durante un determinato periodo di tempo;
- $\sum f_{p,i} \times Q_{i,exp}$ è la somma dell'energia primaria esportata dal sistema durante un determinato lo stesso periodo di tempo ad eccezione dell'energia termica utile consegnata;
- $\sum f_{p,i} \times Q_{i,ss,in}$ è la somma dell'energia termica utile consegnata alle utenze allacciate alla rete durante lo stesso periodo di tempo.

La dichiarazione del fattore di conversione compete al fornitore dell'energia termica utile.⁸⁾

10.2.10 Calcolo del fattore di emissione di CO₂

Il fattore di emissione di CO₂ dato da:

$$f_{CO2,tel} = (\sum f_{CO2,i} \times Q_{i,CO2,in} - \sum f_{CO2,i} \times Q_{i,exp}) / \sum Q_{i,ss,in} \quad [-] \quad (117)$$

8) Come previsto anche dal Decreto Ministeriale 11 marzo 2008 (art.3 comma 2).



11 Cogenerazione

11.1 Generalità

La presente specifica tecnica definisce le modalità per la determinazione di:

- produzione di energia termica utile e di energia elettrica delle unità cogenerative;
- corrispondente fabbisogno di energia primaria.

La specifica tecnica riguarda impianti per climatizzazione di ambienti e/o per produzione di acqua calda sanitaria che utilizzano tra i vari sottosistemi di generazione anche energia termica prodotta da unità di micro cogenerazione o di piccola cogenerazione.

Ai fini dell'applicazione della presente metodologia di calcolo è necessario che:

- le unità cogenerative siano connesse in parallelo alla rete elettrica pubblica;
- la regolazione della sezione cogenerativa sia esclusivamente in funzione del fabbisogno di calore in ingresso al sottosistema di distribuzione (modalità termico segue);
- tutta l'energia termica prodotta in cogenerazione sia effettivamente utilizzata, ovvero non sia previsto l'intervento di sistemi per la dissipazione del calore prodotto durante il normale esercizio dell'impianto.

Sono esclusi dall'ambito di applicazione della presente specifica tecnica:

- gli impianti ad isola, ossia non connessi alla rete elettrica pubblica;
- gli impianti connessi in parallelo rete provvisti di sistemi di dissipazione del calore prodotto dal motore primo, ad eccezione di quegli impianti ove i sistemi di dissipazione vengano abilitati solo durante il periodo di commutazione ad isola in caso di mancanza di tensione della rete pubblica (impianti funzionanti in continuo, ma in grado di assicurare anche la continuità elettrica ad una sezione privilegiata della rete dell'edificio o complesso di edifici);
- gli impianti serviti da unità di cogenerazione destinati alla generazione simultanea di energia termica e meccanica (per esempio pompe di calore azionate da motori endotermici).

11.2 Classificazione delle unità cogenerative

Le unità cogenerative sono classificate in base a:

Tipologia di motore primo:

- motore a combustione interna (ciclo Otto e ciclo Diesel);
- turbina a gas con recupero del calore dei gas di scarico;
- altre tipologie (motori a combustione esterna con ciclo Stirling, celle a combustibile, ecc.)⁹⁾.

Modalità di funzionamento:

- regime a punto fisso (funzionamento on-off, senza modulazione del carico);
- modulazione del carico con variazione della potenza elettrica erogata dalla nominale $\Phi_{\text{chp,el,nom}}$ alla minima tecnica possibile $\Phi_{\text{chp,el,min}}$.

9) I dati per l'applicazione del metodo di calcolo per unità cogenerative con motore Stirling sono riportati nell'appendice L.

**Tipologia di circuito idraulico di recupero termico:**

- recupero costante e non modificabile;
- con by-pass sul recupero fumi, o altro dispositivo che permetta di non recuperare una porzione ben definita dell'energia termica prodotta, la quale, a by-pass aperto, viene dissipata in atmosfera.

Modo di assemblaggio dell'unità cogenerativa:

- sistema assemblato da unico fabbricante che ne dichiara le prestazioni in termini di curve prestazionali. Il sistema deve comprendere almeno il motore primo, gli scambiatori per il recupero del calore, il generatore elettrico e gli organi di regolazione; in aggiunta come opzioni un serbatoio di accumulo termico inerziale e/o un generatore di calore integrativo non cogenerativo;
- sistema assemblato su progetto con organi provenienti da diversi fabbricanti.

Accumulo termico inerziale:

- sottosistema privo di accumulo;
- sottosistema con accumulo presente lato impianto, ossia esterno al sistema cogenerativo;
- sottosistema con accumulo incluso nel sistema cogenerativo.

Composizione della unità cogenerativa:

Ai fini dell'applicazione dei metodi di calcolo della presente specifica tecnica, è necessario considerare la sezione cogenerativa nel suo complesso e distinguere tra:

- sottosistema costituito da un'unica unità di cogenerazione;
- sottosistema costituito da più unità di cogenerazione in cascata, con regolazione comune che ne prevede l'accensione in sequenza in funzione del fabbisogno termico all'ingresso del sottosistema di distribuzione.

11.3 Generalità sulla procedura di calcolo**11.3.1 Generalità e confini del sottosistema**

L'utilizzo dei metodi di calcolo previsti dalla presente specifica tecnica richiede la definizione di confini del sottosistema cogenerativo, i riferimenti per i dati d'ingresso, la definizione dell'intervallo di calcolo e la valutazione del sistema di accumulo inerziale.

Sono compresi nei confini del sottosistema l'unità di cogenerazione o più unità in cascata come definito e l'eventuale sistema di accumulo inerziale. Un eventuale generatore di calore a fiamma non cogenerativo di integrazione è considerato incluso nel sottosistema solo se integrato nel sottosistema fornito dal fabbricante di cui il fabbricante stesso fornisce tutti i dati prestazionali. Altri generatori di calore collegati allo stesso circuito idraulico, ma esterni al sottosistema 'come fornito' si calcolano secondo le pertinenti parti della UNI/TS 11300.

Sono inoltre inclusi i dispositivi ausiliari dipendenti alimentati dal generatore elettrico (o direttamente dal motore primo) dei quali il fabbricante ha tenuto conto nelle curve prestazionali di potenza elettrica netta.

Si definiscono ausiliari indipendenti quelli esterni ai confini sopra indicati ma strettamente funzionali alla sezione cogenerativa e i cui consumi e relativi recuperi termici devono essere determinati in base alle relative potenze elettriche secondo la presente specifica.



11.3.2 Dati di ingresso e intervallo di calcolo

I riferimenti per i dati climatici, per i fabbisogni di energia termica utile per riscaldamento di ambienti e per acqua calda, per il calcolo delle perdite degli impianti sono definiti nel punto 5.

Qualora l'unità di cogenerazione sia inserita in sistema di raffrescamento estivo i fabbisogni di energia si calcolano secondo la UNI/TS 11300-1 per il fabbisogno sensibile e secondo la UNI/TS 11300-3 per la quota di calore latente.

La tipologia dell'impianto, le modalità di installazione dei componenti e i dati i relativi prestazionali si ottengono dal progetto o da rilievi e dai dati dichiarati dai fabbricanti.

Per poter applicare le metodologie di calcolo contenute nella presente specifica tecnica deve essere verificato che le temperature in uscita da tutte le unità costituenti la sezione cogenerativa siano uguali o superiori alla massima temperatura in mandata richiesta all'ingresso del sottosistema di distribuzione. Deve altresì essere verificato che la temperatura massima ammissibile in ingresso a tutte le unità sia uguale o maggiore alla massima temperatura in ritorno dal sottosistema di distribuzione.

Nella relazione deve essere indicata la fonte dei dati assunti per il calcolo.

Ai fini della presente specifica tecnica si assume il mese come intervallo minimo di calcolo.

11.3.3 Verifica del dimensionamento del sistema di accumulo inerziale

Un sistema di accumulo inerziale elimina o riduce la necessita di congruenza puntuale tra la potenza termica erogata dalla sezione cogenerativa ed il fabbisogno istantaneo in ingresso al sistema di distribuzione.

In base all'analisi dei cicli di fabbisogno termico nelle differenti condizioni di esercizio la presente specifica definisce un criterio di dimensionamento del sistema di accumulo inerziale ed un indice di congruità α dello stesso considerato compreso tra zero ed uno. Le prestazioni nelle effettive condizioni di esercizio si calcolano tenendo conto dell'indice di congruità relativo all'accumulo come di seguito definito.

Si devono preliminarmente determinare le perdite di energia termica dal sistema di accumulo $Q_{l,CG,s,mese}$ che devono essere calcolate secondo la UNI/TS 11300-2:2008. Tale valore di $Q_{l,CG,s,mese}$ incrementa il valore di energia termica necessaria all'ingresso del sottosistema di distribuzione $Q_{d,in,mese}$. La potenza termica media richiesta nel mese è data da:

$$\Phi_{d,in,avg,mese} = (Q_{H,d,in,mese} + Q_{W,d,in,mese} + Q_{HR,d,in,mese} + Q_{l,chp,s,mese})/t \quad [W] \quad (118)$$

Le perdite recuperate dal sistema di accumulo $Q_{l,rH,chp,s,mese}$ possono essere considerate in deduzione del fabbisogno di energia a seconda dell'ubicazione del sistema di accumulo stesso.

Si procede quindi a definire il dimensionamento congruo del sistema di accumulo calcolando la capacità di accumulo di energia termica utile $Q_{chp,s,design}$ in funzione dei fabbisogni di energia termica all'ingresso del sottosistema di distribuzione. Poiché l'intervallo di calcolo dei metodi oggetto della presente specifica tecnica è il mese, anche il dimensionamento del sistema di accumulo ed il relativo indice di congruità successivamente definito deve essere effettuato per ciascun singolo intervallo di calcolo. Si ha così un diverso valore specifico di $Q_{chp,s,design}$ per ciascun mese considerato.

Inoltre, poiché la sezione cogenerativa può avere una potenza termica nominale significativamente minore delle potenze medie richieste in ingresso al sottosistema di distribuzione, (in particolare nei mesi invernali in presenza di massiccia integrazione da parte di generatori di calore non cogenerativi), il dimensionamento congruo del sistema di accumulo può essere inferiore e dipendente dalla potenza termica totale della sezione cogenerativa stessa; si definisce quindi, per ciascun intervallo di calcolo, $Q_{chp,s,design}$ come il minimo tra le seguenti coppie di valori:



durante la stagione di riscaldamento:

$$Q_{CG,s,design} = \min (0,25 \times Q_{H,d,in,avg,giorno} + 0,29 \times Q_{W,d,in,avg,giorno}; 3,00 \text{ h} \times \Sigma \Phi_{CGi,ter,out,nom}) \text{ [kWh]} \text{ (119)}$$

al di fuori della stagione di riscaldamento:

$$Q_{CG,s,design} = \min (0,40 \times Q_{HR,ass,in,avg,giorno} + 0,29 \times Q_{W,d,in,avg,giorno}; 4,00 \text{ h} \times \Sigma \Phi_{CGi,ter,out,nom}) \text{ [kWh]} \text{ (120)}$$

La verifica della capacità di accumulo termico di dimensionamento deve sempre tenere conto della temperatura media di ritorno dal sottosistema di distribuzione e dalla temperatura massima in uscita delle unità cogenerative. Per sistemi senza transizione di fase si ottiene:

$$Q_{CG,s} = \rho \times V \times c_p \times (T_{CG,out,max} - T_{d,out,avg})/3 \text{ 600 [kWh]} \text{ (121)}$$

dove:

$T_{CG,out,max}$ temperatura massima acqua in uscita dalla sezione cogenerativa;
 $T_{d,out,avg}$ temperatura media acqua di ritorno dal sottosistema di distribuzione.

L'indice di congruità α è definito da:

$$\alpha = Q_{CG,s}/Q_{CG,s,design} \quad [-] \text{ (122)}$$

In base all'indice α si possono avere i seguenti casi:

- $\alpha > 1$: accumulo maggiore del limite di congruità – si assume come congruo;
- $\alpha = 1$: accumulo congruo;
- $0 < \alpha < 1$: accumulo presente ma non congruo.

Un esempio della verifica di congruità dell'accumulo è riportato nell'appendice K.

11.4 Metodi di calcolo

11.4.1 Scelta del metodo di calcolo

La presente specifica tecnica considera impianti dimensionati secondo le seguenti modalità:

- impianti in cui le unità della sezione cogenerativa sono dimensionate per funzionare a carico nominale per la maggior parte dell'anno o della stagione se adibite a solo riscaldamento;
- impianti in cui la potenza termica totale nominale erogata dalla sezione cogenerativa è sensibilmente maggiore del fabbisogno termico di base richiesto con continuità all'ingresso del sistema di distribuzione. La sezione cogenerativa si trova quindi a funzionare a carico variabile, modulando il fattore di carico della o delle unità di cui è composta e/o avviandole in sequenza secondo logiche di regolazione ad inseguimento termico.

Per ciascuna delle suddette due modalità si fornisce uno specifico metodo di calcolo:

- "metodo del contributo frazionale" per la prima modalità;
- "metodo del profilo di carico mensile" per la seconda modalità.

Ciascuno dei due metodi può essere utilizzato solo quando siano soddisfatte le condizioni specificate nei rispettivi punti.



Per le unità cogenerative basate su motore stirling, si applica esclusivamente il metodo di calcolo del giorno tipo mensile secondo l'appendice L.

Per poter applicare il presente metodo di calcolo in presenza di unità stirling con bruciatore integrativo a bordo devono essere noti anche tutti i dati caratteristici relativi al bruciatore integrativo come indicato nella UNI/TS 11300-2:2008, al fine di permettere la determinazione delle prestazioni globali dell'apparecchio (rendimenti al 100% e a carico intermedio, perdite a carico nullo, ecc.).

11.4.2 Metodo del contributo frazionale mensile

11.4.2.1 Limiti di applicabilità

Questo metodo può essere impiegato solo quando siano rispettate le seguenti condizioni:

- sezione cogenerativa costituita da un'unica unità in assetto cogenerativo funzionante esclusivamente in condizioni nominali, ossia a punto fisso e senza modulazione del carico, la cui accensione e spegnimento siano determinate da una regolazione in modalità segue carico termico. L'impianto, con o senza sistema di accumulo termico inerziale, deve essere privo di by pass-fumi e/o di dissipazione;
- sezione cogenerativa costituita da più unità in cascata, ciascuna funzionante esclusivamente in condizioni nominali, ossia a punto fisso e senza modulazione del carico, in cui l'accensione e lo spegnimento in sequenza dei singoli moduli siano determinate da una regolazione comune che opera esclusivamente in modalità termico segue. L'impianto, con o senza sistema di accumulo termico inerziale, deve essere privo di dissipazione.

I dati prestazionali delle unità di cogenerazione in condizioni nominali devono essere quelli determinati secondo la normativa tecnica vigente e comunque quelli forniti dal fabbricante.

Si richiama l'attenzione sui seguenti aspetti:

- Il rendimento nominale include già le perdite recuperabili dagli ausiliari contenuti all'interno delle unità componenti la sezione cogenerativa, e quindi esse non devono essere nuovamente computate;
- Le perdite dell'eventuale sistema di accumulo, si considerano in deduzione dal fabbisogno all'ingresso del sottosistema di distribuzione $Q_{H,W,d,in}$ qualora i serbatoi siano posizionati in un locale riscaldato;
- Non si considerano recuperabili altre perdite dalla sezione cogenerativa.

11.4.2.2 Energia termica utile prodotta su base mensile

L'energia termica utile prodotta su base mensile della sezione cogenerativa $Q_{CG,ter,out,mese}$ può essere destinata a:

- (1) riscaldamento di ambienti o postriscaldamento;
- (2) produzione di acqua calda sanitaria;
- (3) vettore energetico, sottoforma di acqua calda o surriscaldata, destinato all'alimentazione di un sistema di raffrescamento ad assorbimento per la produzione di acqua refrigerata.



L'energia termica utile complessiva prodotta dalla sezione cogenerativa è determinata dalla seguente equazione:

$$Q_{CG,ter,out} = X_{H,W,CG} \times Q_{H,W,d,in} + X_{HR,ass,in} \times Q_{HR,ass,in} \quad [Wh] \quad (123)$$

dove:

$Q_{H,W,d,in}$ Fabbisogno di energia termica per riscaldamento ambienti e produzione di acqua calda sanitaria in ingresso al sistema di distribuzione. Qualora siano presenti delle batterie di post riscaldamento per trattamento aria, il relativo fabbisogno viene inglobato in questo termine;

$Q_{HR,ass,in}$ Fabbisogno di energia termica quale vettore ad alta temperatura per alimentazione di un sistema di raffrescamento mediante processo ad assorbimento;

$X_{H,W,CG}$ Frazione di energia termica erogata dalla sezione cogenerativa per riscaldamento e produzione di acqua calda in ingresso al sistema di distribuzione (vedere appendice H);

$X_{HR,ass,in}$ Frazione di energia termica erogata dalla sezione cogenerativa per produzione di acqua calda destinata all'alimentazione del sistema di raffrescamento mediante processo ad assorbimento.

Nota Usualmente $X_{HR,ass,in} = 1$, in quanto l'alimentazione del sistema ad assorbimento mediante generatori di calore tradizionali a fiamma non in assetto cogenerativo risulta meno conveniente rispetto ad un'integrazione dell'energia frigorifera residua richiesta dall'edificio mediante gruppi refrigeratori d'acqua ad azionamento elettrico a compressione di gas.

Qualora l'eventuale sistema di raffrescamento ad assorbimento non sia in grado di coprire l'intero fabbisogno di energia frigorifera nell'intervallo di calcolo considerato, dovendo ricorrere anche ad un'integrazione mediante altri gruppi refrigeratori elettrici si definisce:

$$Q_{C,ass,out} = X_{C,ass,out} \times Q_{C,d,in} \quad [Wh] \quad (124)$$

dove:

$Q_{C,d,in}$ Fabbisogno di energia termica per raffrescamento complessiva richiesta in ingresso al sistema di distribuzione;

$Q_{C,ass,out}$ Fabbisogno di energia termica per raffrescamento prodotta dal sistema ad assorbimento;

$X_{C,ass,out}$ Frazione di energia termica per raffrescamento sottoforma di acqua refrigerata erogata dal sistema ad assorbimento.

L'energia termica per raffrescamento prodotta dal sistema ad assorbimento nel periodo di calcolo è data da:

$$Q_{C,ass,in} = Q_{HR,ass,in} \times \eta_{ass} \quad [Wh] \quad (125)$$

Il valore di η_{ass} del rendimento medio mensile è determinato in funzione dei dati prestazionali della macchina ad assorbimento forniti dal fabbricante e dei dati effettivi di esercizio. Qualora i dati disponibili non siano sufficienti, il valore di η_{ass} per assorbitori a bromuro di litio con torre di raffreddamento evaporativa può essere determinato come segue:

$$\eta_{ass} = \eta_{ass,base} + C \quad [-] \quad (126)$$

dove i valori da inserire nella formula sono indicati nel prospetto 34.



prospetto 34 - Fattori indicativi per il calcolo delle prestazioni di unità ad assorbimento per produzione di acqua refrigerata

Valore $\eta_{\text{ass,base}}$	valori di C						
	Temp. ingr. acqua al condensatore in °C		Temp. ingr. acqua calda in °C	Temperatura di mandata fluido refrigerato			
	27 ÷ 29	30 ÷ 32		7	8 ÷ 9	10 ÷ 11	>12
0,50	+0,03	+0,00	da 80 a 84	+0,00	+0,01	+0,02	+0,04
			da 85 a 89	+0,05	+0,06	+0,06	+0,07
			da 90 a 95	+0,10	+0,11	+0,12	+0,13
			>95	+0,13	+0,14	+0,16	+0,17

Il fabbisogno di energia termica necessario all'ingresso del sottosistema ad assorbimento $Q_{\text{HR,ass,in}}$ è dato da:

$$Q_{\text{HR,ass,in}} = (X_{\text{C,ass}} \times Q_{\text{C,d,in}}) / \eta_{\text{ass}} \quad [\text{Wh}] \quad (127)$$

dove:

η_{ass} è il rendimento medio del sistema ad assorbimento nell'intervallo di calcolo.

Qualora nel mese considerato si abbia una contemporanea presenza di fabbisogni di energia frigorifera e il fattore $\beta_{\text{H,W}}$ risulti maggiore di 1, la quota di energia termica utile in eccesso può essere destinata all'assorbitore per produrre energia frigorifera.

Si ha quindi:

$$Q_{\text{HR,ass,in}} = (\beta_{\text{H,W}} - 1) \times \Phi_{\text{CGn,ter,nom}} \times 24 \times \text{Gmese} - Q_{\text{H,W,d,in}} \quad [\text{Wh}] \quad (128)$$

Se nel mese risultano pari a zero i fabbisogni $Q_{\text{H,W,d,in}}$ e vi è presenza di fabbisogni di energia frigorifera, tutta l'energia termica utile prodotta dalla sezione cogenerativa può essere destinata all'assorbitore.

In ogni caso, la produzione di energia frigorifera dell'assorbitore è data dall'equazione $Q_{\text{C,ass,in}} = Q_{\text{HR,ass,in}} \times \eta_{\text{ass}}$ [Wh] (125).

11.4.2.3 Fabbisogno di energia di combustione

Il fabbisogno mensile di energia per la combustione della sezione cogenerativa $Q_{\text{CG,p,in,an}}$ è dato da:

$$Q_{\text{CG,p,in}} = Q_{\text{CG,term,out}} / \eta_{\text{ter,chp}} \quad [\text{Wh}] \quad (129)$$

dove:

$\eta_{\text{ter,CG}}$ è il rendimento termico nominale della sezione cogenerativa.

11.4.2.4 Energia elettrica netta prodotta mensilmente

La produzione mensile di energia elettrica $Q_{\text{CG,el,out}}$ è:

$$Q_{\text{CG,el,out}} = Q_{\text{CG,p,in}} \times \eta_{\text{el,CG}} - Q_{\text{CG,aux,el}} \quad [\text{Wh}] \quad (130)$$



dove:

$\eta_{el,CG}$ è il rendimento elettrico netto nominale della sezione cogenerativa;

$Q_{CG,aux,el}$ è il fabbisogno elettrico degli ausiliari indipendenti.

11.4.2.5 Energia termica richiesta su base mensile da altri generatori di calore non cogenerativi

Il fabbisogno residuo di energia termica che deve essere soddisfatto dai generatori di calore esterni alla sezione cogenerativa $Q_{gn,npref,out}$ si ottiene dalla:

$$Q_{gn,npref,out} = Q_{H,d,in} + Q_{W,d,in} + Q_{C,d,in} - Q_{CG,gen,out} - Q_{CG,aux,lrh} \quad [Wh] \quad (131)$$

dove:

$Q_{CG,aux,lrh}$ sono le perdite recuperate da ausiliari indipendenti considerate come specificato nel punto 5.

11.4.2.6 Fabbisogno mensile di energia primaria

Il fabbisogno mensile di energia primaria $Q_{p,in}$ è dato da :

$$Q_{p,in} = Q_{CG,p,in} + Q_{gn,in} - f_{p,el} (Q_{CG,el,out} - Q_{CG,aux,el} - Q_{aux,t}) \quad [Wh] \quad (132)$$

dove:

$Q_{gn,in}$ è il fabbisogno totale di energia primaria dei generatori di calore non cogenerativi;

$f_{p,el}$ è il fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria.

Nota $Q_{aux,t}$ è il consumo elettrico degli ausiliari indipendenti (esterni al sottosistema cogenerativo) che per esempio riguarda il fabbisogno di energia elettrica per la distribuzione del fluido termovettore o per il ventilatore della torre evaporativa associata all'eventuale sistema ad assorbimento, se presente.

11.4.2.7 Prestazioni su base annua

La prestazione complessiva su base annua della sezione cogenerativa è determinata come sommatoria dei singoli contributi mensili.

$$Q_{CG,el,out,an} = \sum Q_{CG,el,out,mese} \quad [Wh] \quad (133)$$

$$Q_{CG,ter,out,an} = \sum Q_{CG,ter,out,mese} \quad [Wh] \quad (134)$$

$$Q_{CG,p,in,an} = \sum Q_{CG,p,in,mese} \quad [Wh] \quad (135)$$

Per sommatoria dei singoli contributi mensili si determina anche l'integrazione necessaria da parte dei generatori di calore non in assetto cogenerativo, il fabbisogno totale di energia primaria dell'edificio e l'eventuale integrazione necessaria.

$$Q_{gn,npref,out,an} = \sum Q_{CG,ter,out,mese} \quad [Wh] \quad (136)$$



$$Q_{p,in,an} = \sum Q_{CG,ter,out,mese} \quad [Wh] \quad (137)$$

$$Q_{C,npref,an} = \sum Q_{C,d,in,mese} \times (1 - X_{C,ass,mese}) \quad [Wh] \quad (138)$$

In merito a $X_{C,ass,mese}$ tenere conto di quanto precisato nella nota del punto 11.4.2.2.

11.4.3 Metodo basato sul profilo del giorno tipo mensile

11.4.3.1 Determinazione del profilo di carico del giorno tipo mensile per la sezione cogenerativa

Questo metodo può essere applicato quando siano rispettate le seguenti condizioni:

- in conformità a quanto indicato al punto 11.1 la sezione cogenerativa funzioni in modalità “termico segue” e nell’esercizio ordinario non sia prevista dissipazione del calore cogenerato ad eccezione del by-pass sul recupero fumi;
- siano disponibili tutte le prestazioni delle unità componenti la sezione cogenerativa in funzione del fattore di carico. I dati devono essere forniti dal fabbricante secondo le norme pertinenti.

In particolare tali dati devono comprendere:

- valori di potenza termica, potenza elettrica netta e potenza termica primaria sul fattore di carico FC_{el} , dalla potenza nominale al minimo tecnico possibile;
- temperature di ingresso ed uscita dell’acqua di raffreddamento a cui sono riferite;
- temperatura, pressione e umidità dell’ambiente di prova.

Nota I dati ottenuti dei motori primi sono determinati con prove al banco.

Qualora l’unità cogenerativa sia in grado di sfruttare la condensazione dei fumi di scarico, la curva di rendimento termico deve essere rilevata per due condizioni di temperatura acqua in ingresso (alta e bassa temperatura). Preferenzialmente devono essere utilizzati rispettivamente 60 °C e 35 °C. Le temperature devono comunque essere specificate a margine delle curve.

La procedura di calcolo prevede:

- determinazione dei fabbisogni del giorno tipo mensile;
- determinazione del profilo di carico del giorno tipo mensile per ogni tipo di fabbisogno;
- calcolo del fabbisogno orario dell’unità cogenerativa in base alle curve prestazionali;
- calcolo della produzione oraria di energia elettrica;
- calcolo del fabbisogno orario di energia ausiliaria;
- calcolo del fabbisogno orario di energia termica utile di integrazione;
- calcolo del fabbisogno orario di energia primaria di integrazione;
- calcolo dei fabbisogni nel giorno tipo mensile;
- calcolo dei fabbisogni su base mensile.



11.4.3.2 Determinazione del profilo di carico del giorno tipo mensile per la sezione cogenerativa

Per ciascun intervallo di calcolo (mese) si determina la quantità di energia richiesta nel giorno tipo del mese in ingresso al sistema di distribuzione per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria come di seguito indicato.

Qualora siano presenti unità di post riscaldamento aria, il relativo fabbisogno viene sommato in $Q_{H,d,in}$.

$$Q_{H,d,in,avg,giorno} = Q_{H,d,in,mese} / G \quad [Wh] \quad (139)$$

$$Q_{W,d,in,avg,giorno} = Q_{W,d,in,mese} / G \quad [Wh] \quad (140)$$

$$Q_{HR,ass,in,avg,giorno} = Q_{HR,ass,in,mese} / G \quad [Wh] \quad (141)$$

dove:

- G è il numero di giorni nel mese considerato;
- $Q_{H,d,in,avg,giorno}$ è l'energia termica per riscaldamento nel giorno tipo del mese calcolato in base al fabbisogno mensile;
- $Q_{W,d,in,avg,giorno}$ è l'energia termica per produzione di acqua calda sanitaria nel giorno tipo del mese calcolato in base al fabbisogno mensile;
- $Q_{HR,ass,in,avg,giorno}$ è l'energia termica per raffrescamento mediante processo ad assorbimento nel giorno tipo del mese calcolato in base al fabbisogno mensile.

Mediante la procedura descritta nell'appendice L si determina l'andamento orario della potenza termica complessiva richiesta in ingresso al sistema di distribuzione nel giorno tipo mensile che, tenuto conto delle perdite recuperabili dagli ausiliari indipendenti, è definito come segue:

$$\Phi_{d,in,h} = \Phi_{H,d,in,h} + \Phi_{W,d,in,h} + \Phi_{HR,ass,in,h} - \Phi_{CG,aux,lrh} \quad [W] \quad (142)$$

dove:

- $\Phi_{H,d,in,h}$ è la potenza termica richiesta nell'ora h per riscaldamento
- $\Phi_{W,d,in,h}$ è la potenza termica richiesta nell'ora h per produzione acqua calda sanitaria
- $\Phi_{HR,ass,in,h}$ è la potenza termica richiesta nell'ora h per raffrescamento o post-riscaldamento
- $\Phi_{CG,aux,lrh}$ è la potenza termica recuperabile dagli ausiliari indipendenti, assunta nulla se $FC_{ter,h} < FC_{ter,min}$

Si calcolano quindi la produzione termica ed elettrica ed i fabbisogni mensili applicati alla sezione cogenerativa:

$$Q_{CG,ter,out,mese} \quad [Wh]$$

$$Q_{CG,el,out,mese} \quad [Wh]$$

$$Q_{CG,p,in,mese} \quad [Wh]$$

utilizzando:

- per sistemi senza sistema di accumulo termico inerziale la procedura descritta nel punto 11.4.2.3;
- per sistemi con sistema di accumulo termico inerziale la procedura descritta nel punto 11.4.2.4.



11.4.3.3 Sistemi senza accumulo termico inerziale

Il calcolo di seguito viene eseguito come descritto in (a) o in (b) a seconda che si tratti di sezione cogenerativa con unica unità o di unità cogenerativa multipla.

(a) Sottosistemi con unica unità cogenerativa.

Per ciascuno dei 24 intervalli orari in cui è diviso il profilo giornaliero di richiesta termica si determina il corrispondente fattore di carico termico della sezione cogenerativa definito come:

$$FC_{ter,h} = \Phi_{d,in,h} / \Phi_{CG,ter,nom} \quad [-] \quad (143)$$

Il campo di modulazione dell'unità è compreso tra 1 e un fattore di carico FC_{min} determinato dalla minima potenza ammissibile dichiarata dal fabbricante.

Si possono quindi presentare i seguenti casi:

(1) $FC_{ter,min} < \Phi_{d,in,h} / \Phi_{CG,ter,nom}$ e compreso tra 1 e FC_{min}

in tal caso le prestazioni della sezione cogenerativa al fattore di carico $FC_{ter,h}$:

$$\Phi_{CG,ter,out,h}; \Phi_{CG,el,out,h}; \Phi_{CG,p,in,h} \quad [W] \quad (144)$$

vengono determinate interpolando linearmente sulle curve prestazionali dell'unità in funzione di $\Phi_{CG,ter,out,h}$ come descritto nell'appendice B. Qualora il fabbricante renda disponibile solo le prestazioni nominali a fattore di carico unitario, si possono utilizzare le curve normalizzate riportate nell'appendice M o N nel caso di carico variabile.

(2) $\Phi_{d,in,h} / \Phi_{CG,ter,nom} < FC_{min}$

ossia il fattore di carico risulta minore del minimo valore ammissibile per l'unità di cogenerazione. in tal caso si pone (unità è disattivata):

$$FC_{ter,h} = \Phi_{CG,ter,out,h} = \Phi_{CG,el,out,h} = \Phi_{CG,p,hn,h} = 0 \quad [-] \quad (145)$$

(3) $\Phi_{d,in,h} / \Phi_{CG,ter,nom} > 1$

ossia il fattore di carico risulta maggiore di 1. In tal caso si pone (unità funzionante a carico nominale):

$$FC_{ter,h} = 1; \Phi_{CG,ter,out,h} = \Phi_{CG,ter,out,nom}; \Phi_{CG,el,out,h} = \Phi_{CG,el,out,nom}; \Phi_{CG,p,hn,h} = \Phi_{CG,p,hn,nom} \quad [-] \quad (146)$$

(b) Sottosistemi multipli

Per sottosistema multiplo si intende che la sezione cogenerativa è costituita da più unità cogenerative (CG1, CG2,...,CGn) collegate allo stesso circuito idraulico e provviste di regolazione di cascata comune, che ripartisce il carico con priorità e ottimizza il funzionamento globale dell'intera sezione.



Una data unità funziona solo se le altre unità di priorità immediatamente più alta funzionano a pieno carico. L'elenco di priorità può essere fisso o ruotare in base alle ore di funzionamento mancanti alla scadenza dell'intervallo di manutenzione delle singole macchine.

Se tutti i generatori sono di uguale potenza $\Phi_{CG,ter,out,nom}$ il numero di generatori in funzione $N_{CG,on}$ è:

$$N_{CG,on} = \text{int} (\Phi_{d,in,h} / \Phi_{CG,ter,nom}) \quad [\text{numero}] \quad (147)$$

dove:

$N_{CG,on}$ numero di unità in funzione, compreso tra 0 e il $N_{CG,tot}$ ossia il numero totale di unità installate.

Qualora le unità abbiano potenza diversa, il numero di unità in funzione deve essere determinato per ogni intervallo orario di funzionamento tenendo conto dell'elenco di priorità e rispettando la condizione che:

$$FC_{ter,min} < FC_{ter} < 1 \quad [-] \quad (148)$$

Si possono quindi presentare i seguenti casi:

1) La potenza media oraria richiesta dal sottosistema di distribuzione è minore della potenza minima tecnicamente erogabile dall'unità a priorità più alta CG1, ossia:

$$\Phi_{d,in,h} < \Phi_{CG1,ter,min} \quad (149)$$

Ne risulta che:

$$N_{CG,on} = 0 \quad (150)$$

Tutto il fabbisogno termico, qualora sia maggiore di zero, deve essere fornito dai generatori di calore non cogenerativi.

2) La potenza media oraria richiesta dal sottosistema di distribuzione è maggiore o uguale alla potenza nominale complessiva del sottosistema multiplo, ossia:

$$\Phi_{d,in,h} \geq \sum \Phi_{CGi,ter,nom} \quad (151)$$

Ne risulta che:

$$N_{CG,on} = N_{CG,tot} \quad (152)$$

Tutte le unità sono in funzione in condizioni nominali. L'eventuale eccesso di potenza termica richiesta dal sottosistema di distribuzione deve essere fornito dai generatori di calore non cogenerativi.

$$\Phi_{CG,ter,out,h} = \sum \Phi_{CGi,ter,nom} \quad (153)$$

$$\Phi_{CG,el,out,h} = \sum \Phi_{CGi,el,nom} \quad (154)$$

$$\Phi_{CG,p,in,h} = \sum \Phi_{CGi,p,nom} \quad (155)$$



3) Caso intermedio con n unità cogenerative in funzione.

Le prime $n-1$ unità funzionano in condizioni nominali, mentre l'unità a priorità più bassa si funziona ad un fattore di carico FC generico purché superiore al proprio FCmin. In caso contrario rimarrà in stand-by.

$$3.1) \quad (\Phi_{d,in,h} - \sum \Phi_{CGi,ter,nom}) / \Phi_{CGn,ter,nom} \geq FC_{CGn,ter,min} \quad (i=1 \dots n-1) \quad (156)$$

$$\Phi_{CG,ter,out,h} = \sum \Phi_{CGi,ter,nom} + \Phi_{CGn,ter,h} \quad (i=1 \dots n-1)$$

$$\Phi_{CG,el,out,h} = \sum \Phi_{CGi,el,nom} + \Phi_{CGn,el,h} \quad (i=1 \dots n-1)$$

$$\Phi_{CG,p,in,h} = \sum \Phi_{CGi,p,nom} + \Phi_{CGn,p,h} \quad (i=1 \dots n-1)$$

$$3.2) \quad (\Phi_{d,in,h} - \sum \Phi_{CGi,ter,nom}) / \Phi_{CGn,ter,nom} < FC_{CGn,ter,min} \quad (i=1 \dots n-1) \quad (157)$$

$$\Phi_{CG,ter,out,h} = \sum \Phi_{CGi,ter,nom} \quad (i=1 \dots n-1)$$

$$\Phi_{CG,el,out,h} = \sum \Phi_{CGi,el,nom} \quad (i=1 \dots n-1)$$

$$\Phi_{CG,p,in,h} = \sum \Phi_{CGi,p,nom} \quad (i=1 \dots n-1)$$

La quota parte mancante della potenza termica richiesta dal sottosistema di distribuzione deve essere fornita dai generatori di calore non cogenerativi, in quanto minore della minima potenza erogabile dall'unità CGn.

È quindi possibile calcolare le quantità di energia prodotte e i fabbisogni della sezione cogenerativa su base mensile:

$$Q_{CG,ter,out,mese} = G_{mese} \times \sum 1 \times \Phi_{CG,ter,out,h} \quad [Wh] \quad (158)$$

$$Q_{CG,p,in,mese} = G_{mese} \times \sum 1 \times \Phi_{CG,ter,out,h} \quad [Wh] \quad (159)$$

$$Q_{CG,el,out,mese} = G_{mese} \times \sum (1 \times \Phi_{CG,ter,out,h} - 1 \times \Phi_{CG,aux,el}) \quad [Wh] \quad (160)$$

Dove $\sum 1 \times \Phi_{CG,h}$ è la somma da 1 a 24 dell'energia in ciascuna ora di funzionamento del giorno tipo mensile.

11.4.3.4 Sistemi con accumulo termico inerziale

Si effettua la valutazione del sistema di accumulo inerziale come specificato nel punto 11.3.3.

Il calcolo della prestazione nel giorno tipo mensile viene quindi eseguito seguendo la procedura indicata ai successivi paragrafi a seconda che si tratti di sezioni cogenerative con unico generatore o multiple.

11.4.3.5 Sezioni cogenerative con unico generatore e accumulo termico inerziale congruo ($\alpha \geq 1$)

Se $\alpha \geq 1$ si può ipotizzare che il fattore di carico dell'unità cogenerativa sia costante nell'arco delle 24 h. Il fattore di carico FC diventa quindi unico per ciascun periodo di calcolo e pari a:

$$FC_{ter,mese} = \Phi_{d,in,avg,mese} / \Phi_{CG,ter,out,nom} \quad [-] \quad (161)$$



Si possono quindi avere tre casi:

$$(1) \quad FC_{\text{ter,min}} < \Phi_{\text{d,in,avg,mese}} / \Phi_{\text{CG,ter,out,nom}} < 1 \text{ e } > FC_{\text{ter,min}} \quad [-] \quad (162)$$

In questo caso si determinano interpolando le potenze corrispondenti al fattore di carico determinato FC_{mese} con interpolazione sulle curve prestazionali:

$$\Phi_{\text{CG,ter,out,mese}}, \Phi_{\text{CG,p,in,mese}}, \Phi_{\text{CG,el,out,mese}} \quad [\text{W}] \quad (163)$$

con queste si calcolano:

$$Q_{\text{CG,ter,out,mese}} = 24 \times G_{\text{mese}} \times \Phi_{\text{CG,ter,out,mese}} \quad [\text{Wh}] \quad (164)$$

$$Q_{\text{CG,p,in,mese}} = 24 \times G_{\text{mese}} \times \Phi_{\text{CG,p,in,mese}} \quad [\text{Wh}] \quad (165)$$

$$Q_{\text{CG,el,out,mese}} = 24 \times G_{\text{mese}} \times \Phi_{\text{CG,el,out,mese}} \quad [\text{Wh}] \quad (166)$$

$$(2) \quad \Phi_{\text{d,in,avg,mese}} / \Phi_{\text{CG,ter,out,nom}} < FC_{\text{ter,min}}: \quad [\text{Wh}] \quad (167)$$

In questo caso l'unità funziona in modo intermittente al minimo fattore di carico ammissibile. Tenendo conto mediante un parametro k della riduzione dei rendimenti per i transitori di avviamento e spegnimento si ha:

$$Q_{\text{CG,ter,out,mese}} = Q_{\text{d,in,mese}} \quad [\text{Wh}] \quad (168)$$

$$Q_{\text{CG,p,in,mese}} = Q_{\text{d,in,mese}} \cdot (1 + k) \cdot \Phi_{\text{CG,p,in,min}} / \Phi_{\text{CG,ter,out,min}} \quad [\text{Wh}] \quad (169)$$

$$Q_{\text{CG,el,out,mese}} = Q_{\text{d,in,mese}} \cdot \Phi_{\text{CG,el,out,min}} / \Phi_{\text{CG,ter,out,min}} \quad [\text{Wh}] \quad (170)$$

dove il parametro k vale:

$$K = 0,005 (\Phi_{\text{CG,ter,out,min}} / \Phi_{\text{d,in,avg}} - 1) \quad (171)$$

con:

$$\Phi_{\text{CG,ter,out,min}} / \Phi_{\text{d,in,avg}} = FC_{\text{ter,min}} / FC_{\text{ter,mese}} \text{ variabile tra } 0 \text{ e } 1 \quad (172)$$

$$(3) \quad \Phi_{\text{d,in,avg,mese}} / \Phi_{\text{CG,ter,out,nom}} > 1 \quad (173)$$

In tal caso si ha:

$$\Phi_{\text{CG,ter,out,mese}} = \Phi_{\text{CG,ter,out,nom}}; \Phi_{\text{CG,el,out,mese}} = \Phi_{\text{CG,el,out,nom}}; \Phi_{\text{CG,p,mesen,mese}} = \Phi_{\text{CG,p,mesen,nom}} \quad [\text{W}] \quad (174)$$

e le energie si calcolano sulla base delle ore/mese.



11.4.3.6 Sottosistemi multipli con accumulo termico inerziale congruo ($\alpha \geq 1$)

Nel caso la sezione cogenerativa sia un sottosistema multiplo composto da più unità cogenerative come definito nel punto 11.2, il calcolo della prestazione nel giorno tipo mensile deve essere effettuato con la seguente procedura.

Si determina il numero di unità funzionanti in continuo a potenza nominale:

$$N_{CG,on} = \text{int} (\Phi_{d,in,avg,mese} / \Sigma \Phi_{CGn,ter,nom}) \quad (175)$$

Si possono quindi presentare i seguenti casi:

1.a) La potenza media richiesta dal sottosistema di distribuzione è compresa tra la potenza minima ammissibile e la potenza nominale erogata dall'unità a priorità più alta CG1:

$$\Phi_{CG1,ter,min} < \Phi_{d,in,h} < \Phi_{CG1,ter,nom}; \quad N_{CG,on} = 0 \quad (176)$$

In tal caso solo l'unità a priorità più alta si troverà a funzionare in maniera continua con fattore di carico termico pari a:

$$FC_{ter} = \Phi_{d,in,avg,mese} / \Phi_{CG1,ter,out,nom} \quad (177)$$

Le potenze corrispondenti al fattore di carico determinato FC_{ter} si determinano con interpolazione sulle curve prestazionali

$$\Phi_{CG,ter,out,mese}, \Phi_{CG,p,in,mese}, \Phi_{CG,el,out,mese} \quad (178)$$

e con queste si calcolano:

$$Q_{CG,ter,out,mese} = 24 \times G_{mese} \times \Phi_{CG,ter,out,mese} \quad [\text{Wh}] \quad (179)$$

$$Q_{CG,p,in,mese} = 24 \times G_{mese} \times \Phi_{CG,p,in,mese} \quad [\text{Wh}] \quad (180)$$

$$Q_{CG,el,out,mese} = 24 \times G_{mese} \times \Phi_{CG,el,out,mese} \quad [\text{Wh}] \quad (181)$$

Dove $1 \times \Phi_{CG,h}$ è l'energia in ciascuna ora di funzionamento.

1b) La potenza media richiesta dal sottosistema di distribuzione è minore della potenza minima erogata dall'unità a priorità più alta CG1:

$$N_{CG,on} = 0; \quad \Phi_{CG1,ter,min} > \Phi_{d,in,h} \quad (182)$$

In tal caso solo l'unità a priorità più alta si troverà a funzionare in modo intermittente al minimo fattore di carico possibile e si ha:

$$Q_{CG,ter,out,mese} = Q_{d,in,mese} \quad [\text{Wh}] \quad (183)$$

$$Q_{CG,p,in,mese} = Q_{d,in,mese} \times (1 + k) \times \Phi_{CG1,p,in,min} / \Phi_{CG1,ter,out,min} \quad [\text{Wh}] \quad (184)$$

$$Q_{CG,el,out,mese} = Q_{d,in,mese} \times \Phi_{CG1,el,out,min} / \Phi_{CG1,ter,out,min} \quad [\text{Wh}] \quad (185)$$



$$K = 0,005 (\Phi_{CG1,ter,out,min} / \Phi_{d,in,avg,mese} - 1) \quad (186)$$

2) La potenza media richiesta dal sottosistema di distribuzione è maggiore o uguale alla potenza nominale complessiva del sottosistema multiplo, ossia:

$$N_{CG,on} = N_{CG,tot}; \quad \Phi_{d,in,avg,mese} \geq \sum \Phi_{CGi,ter,nom} \quad (187)$$

Tutte le unità sono in funzione in condizioni nominali. L'eventuale surplus di potenza termica richiesta dal sottosistema di distribuzione deve essere fornito dai generatori di calore non cogenerativi.

$$Q_{CG,ter,out,mese} = 24 \times G_{mese} \times \sum \Phi_{CGi,ter,nom} \quad [Wh] \quad (188)$$

$$Q_{CG,el,out,mese} = 24 \times G_{mese} \times \sum \Phi_{CGi,el,nom} \quad [Wh] \quad (189)$$

$$Q_{CG,p,in,mese} = 24 \times G_{mese} \times \sum \Phi_{CGi,p,nom} \quad [Wh] \quad (190)$$

3.a) La potenza media richiesta dal sottosistema di distribuzione compresa tra la potenza nominale delle prime $(n-1)$ unità e la potenza termica totale della sezione cogenerativa.

Le prime $(n-1)$ unità funzionano in condizioni nominali, mentre l'unità ennesima si trova a funzionare ad un fattore di carico FC generico maggiore del proprio FC_{min} .

$$N_{CG,on} = (n - 1);$$

$$(\Phi_{d,in,avg,mese} - \sum \Phi_{CGi,ter,nom}) / \Phi_{CGn,ter,nom} \geq FC_{CGn,ter,min} \quad (i=1 \dots n-1)$$

Con il fattore di carico FC_{mese} si determinano con interpolazione sulle curva prestazionale dell'unità ennesima.

$$\Phi_{CG,ter,out,mese}, \Phi_{CG,p,in,mese}, \Phi_{CG,el,out,mese} \quad (191)$$

Si ottiene quindi il contributo totale mensile della sezione:

$$Q_{CG,ter,out,mese} = 24 \times G_{mese} \times (\sum \Phi_{CGi,ter,nom} + \Phi_{CGn,ter,mese}) \quad (i=1 \dots n-1) \quad [Wh] \quad (192)$$

$$Q_{CG,el,out,h} = 24 \times G_{mese} \times (\sum \Phi_{CGi,el,nom} + \Phi_{CGn,el,mese}) \quad (i=1 \dots n-1) \quad [Wh] \quad (193)$$

$$Q_{CG,p,in,h} = 24 \times G_{mese} \times (\sum \Phi_{CGi,p,nom} + \Phi_{CGn,p,mese}) \quad (i=1 \dots n-1) \quad [Wh] \quad (194)$$

3.b) La potenza media richiesta dal sottosistema di distribuzione compresa tra la potenza nominale delle prime $(n-1)$ unità e la potenza termica totale della sezione cogenerativa.

Le prime $(n-1)$ unità funzionano in condizioni nominali, mentre l'unità ennesima si trova a funzionare in maniera intermittente al minimo fattore di carico possibile.

$$N_{CG,on} = (n - 1);$$

$$(\Phi_{d,in,avg,mese} - \sum \Phi_{CGi,ter,nom}) / \Phi_{CGn,ter,nom} < FC_{CGn,ter,min} \quad (i=1 \dots n-1)$$

si determina quindi il contributo dell'unità ennesima come segue:

$$Q_{CG,ter,out,mese} = 24 \times G_{mese} \times (\Phi_{d,in,avg,mese} - \sum \Phi_{CGi,ter,nom}) \quad [Wh] \quad (195)$$

$$Q_{CG,p,in,mese} = 24 \times G_{mese} \times (\Phi_{d,in,avg,mese} - \sum \Phi_{CGi,ter,nom}) \times (1 + k) \times \Phi_{CG,p,in,min} / \Phi_{CG,ter,out,min} \quad [Wh] \quad (196)$$



$$Q_{CG,el,out,mese} = 24 \times G_{mese} \times (\Phi_{d,in,avg,mese} - \sum \Phi_{CGi,ter,nom}) \times \Phi_{CG,el,out,min} / \Phi_{CG,ter,out,min} \quad [Wh] \quad (197)$$

dove il parametro k vale:

$$K = 0,005 (\Phi_{CG,ter,out,min} / (\Phi_{d,in,avg,mese} - \sum \Phi_{CGi,ter,nom}) - 1) \quad (198)$$

Si ottiene infine il contributo totale mensile della sezione:

$$Q_{CG,ter,out,mese} = 24 \times G_{mese} \times (\sum \Phi_{CGi,ter,nom} + \Phi_{CGn,ter,mese}) \quad (i=1 \dots n-1) \quad [Wh] \quad (199)$$

$$Q_{CG,el,out,h} = 24 \times G_{mese} \times (\sum \Phi_{CGi,el,nom} + \Phi_{CGn,el,mese}) \quad (i=1 \dots n-1) \quad [Wh] \quad (200)$$

$$Q_{CG,p,in,h} = 24 \times G_{mese} \times (\sum \Phi_{CGi,p,nom} + \Phi_{CGn,p,mese}) \quad (i=1 \dots n-1) \quad [Wh] \quad (201)$$

11.4.3.7 Sottosistemi multipli con accumulo termico inerziale non congruo ($\alpha < 1$)

Se il fattore α è compreso tra 0 e 1, si calcolano le grandezze $Q_{CG,ter,out,mese}$, $Q_{CG,p,in,mese}$, $Q_{CG,el,out,mese}$ sia per $\alpha = 0$ sia per $\alpha = 1$).

Le prestazioni su base mensile si calcolano come segue:

$$Q_{CG,ter,out,mese} = (1 - \alpha) \times Q_{CG,ter,out,mese,\alpha=0} + \alpha \times Q_{CG,ter,out,mese,\alpha \geq 1} \quad [Wh] \quad (202)$$

$$Q_{CG,p,in,mese} = (1 - \alpha) \times Q_{CG,p,in,mese,\alpha=0} + \alpha \times Q_{CG,p,in,mese,\alpha \geq 1} \quad [Wh] \quad (203)$$

$$Q_{CG,el,out,mese} = (1 - \alpha) \times Q_{CG,el,out,mese,\alpha=0} + \alpha \times Q_{CG,el,out,mese,\alpha \geq 1} \quad [Wh] \quad (204)$$



Appendice A (informativa)

Classificazione e dati caratteristici dei componenti dei sistemi solari termici

A.1 Collettori solari

A.1.1 Classificazione

I collettori a fluido termovettore liquido possono essere:

- collettori piani con piano vetrato;
- collettori a tubi sottovuoto;
- collettori non vetrati.

I collettori ad aria sono del tipo a cassetta costituiti da un contenitore a scatola con superficie superiore trasparente in vetro o plastica e isolamento termico sul fondo e sulle pareti. Trovano applicazione per riscaldamento di aria ambiente e per processi di essiccazione.

A.1.2 Dati caratteristici

I dati caratteristici sono :

A : superficie di apertura del collettore (m^2);

η_0 : efficienza del collettore con perdite nulle;

a_1 : coefficiente di primo ordine di interpolazione dell'efficienza ($W/(m^2 \times K)$);

a_2 : coefficiente di secondo ordine di interpolazione dell'efficienza ($W/(m^2 \times K^2)$).

A.2 Sottosistemi di produzione solare prefabbricati

A.2.1 Classificazione

Prodotti commercializzati assemblati o come kit pronti per essere installati con configurazioni fisse secondo la UNI EN 12976-2.

I componenti principali sono:

- collettori;
- serbatoio di accumulo;
- reti di tubazioni;
- ausiliari elettrici (ove richiesti);
- dispositivi di regolazione, controllo e sicurezza.

A.2.2 Dati caratteristici

I dati caratteristici sono:

A : superficie di aperture dei collettori (m^2);

V_n : capacità nominale dell'accumulo (l);

A_C^* : superficie effettiva del collettore (m^2);

C_S : capacità termica dell'accumulo (MJ/K);

U_C^* : coefficiente effettivo di perdita di calore ($W/(m^2 \times K)$);

f_{aux} : parte di accumulo utilizzata dal riscaldatore ausiliario (-).



Le ultime quattro caratteristiche non sono indicate nei risultati delle prove secondo la UNI EN 12976-2.

A.3 Accumuli

A.3.1 Classificazione

Le tipologie di serbatoi di accumulo sono molto diversificate e ciò deve essere considerato con la massima attenzione ai fini dell'applicazione della presente specifica tecnica.

Si deve distinguere tra :

- serbatoi senza scambiatore interno:
sono serbatoi che possono essere utilizzati da soli o con scambiatore esterno;
- serbatoi con scambiatore:
serbatoi ad intercapedine;
serbatoi con superficie di scambio non modificabile;
accumuli con scambiatore a serpentino interno;
serbatoi ai quali possono essere accoppiati serpentini diversi sia come numero che come superficie.
In particolare si hanno:
serbatoi a semplice serpentino (per esempio per sole utenze acqua calda sanitaria);
serbatoi a doppio serpentino per doppio servizio acqua sanitari e riscaldamento;
serbatoi doppi nei quali si hanno oltre a due serpentini uno collegato al sottosistema solare ed uno collegato al sottosistema caldaia un accumulo interno collegato al circuito acqua calda sanitaria.

A.3.2 Dati caratteristici

I dati caratteristici sono:

V_n : capacità nominale del serbatoio (l);

U_A : coefficiente di perdita di calore globale del serbatoio (W/K).



Appendice B (informativa)

Esempi di configurazioni impiantistiche di sistemi solari termici

Un sistema solare termico è costituito essenzialmente da un circuito di base che comprende i collettori solari e un serbatoio di accumulo che ha lo scopo di raccogliere l'energia termica per renderla disponibile nel momento in cui necessita. Il circuito solare così definito può essere inserito nelle configurazioni più diverse a seconda di condizioni e dal tipo di servizio dell'impianto.

Nella impossibilità di illustrare tutta la molteplicità di combinazioni possibili, nella presente appendice si riportano alcuni schemi base ai quali sono riconducibili gran parte delle possibili combinazioni impiantistiche oggi adottate.

Negli schemi sono indicati tutti i principali componenti con la simbologia della presente specifica tecnica.

In ciascuno schema sono inoltre indicati con la simbologia delle norme UNI EN alle quali si fa riferimento nella presente specifica tecnica.

Gli schemi base riportati sono:

1 Sistema solare a circolazione naturale: con o senza riscaldatore ausiliario fornito generalmente come kit per modesti fabbisogni di acqua calda sanitaria.

2 Sistema solare per il preriscaldamento dell'acqua: schema di base che può essere parte di configurazioni impiantistiche più complesse.

3 Sistema solare con integrazione termica mediante generatore di calore: schema di applicazione generale per impianti in abitazioni unifamiliari o in grandi edifici.

4 Sistema solare con due bollitori: integrazione termica nel secondo serbatoio. Schema di applicazione generale per migliorare i rendimenti in relazione ai profili d'utenza.

5 Sistema solare in impianto misto riscaldamento/acqua calda sanitaria: schema base per diverse configurazioni d'impianto.

6 Sistema solare in impianto misto riscaldamento/acqua calda sanitaria con accumulo di fluido termovettore

7 Sistema solare a svuotamento: schema idoneo nei casi in cui si abbiano sovradimensionamenti dei collettori e conseguenti sovra temperature estive dell'acqua.

8 Sistema solare per produzione acqua calda a temperatura prefissata: schema idoneo per particolari applicazioni agricole e industriali.

1 Sistema solare a circolazione naturale

La figura B.1 illustra un circuito sola a circolazione naturale. Si tratta di una soluzione che ha applicazioni in impianti di modeste dimensioni per abitazioni singole o per impianti sportivi, campeggi, attività stagionali. Il sistema viene normalmente fornito prefabbricato o come kit.

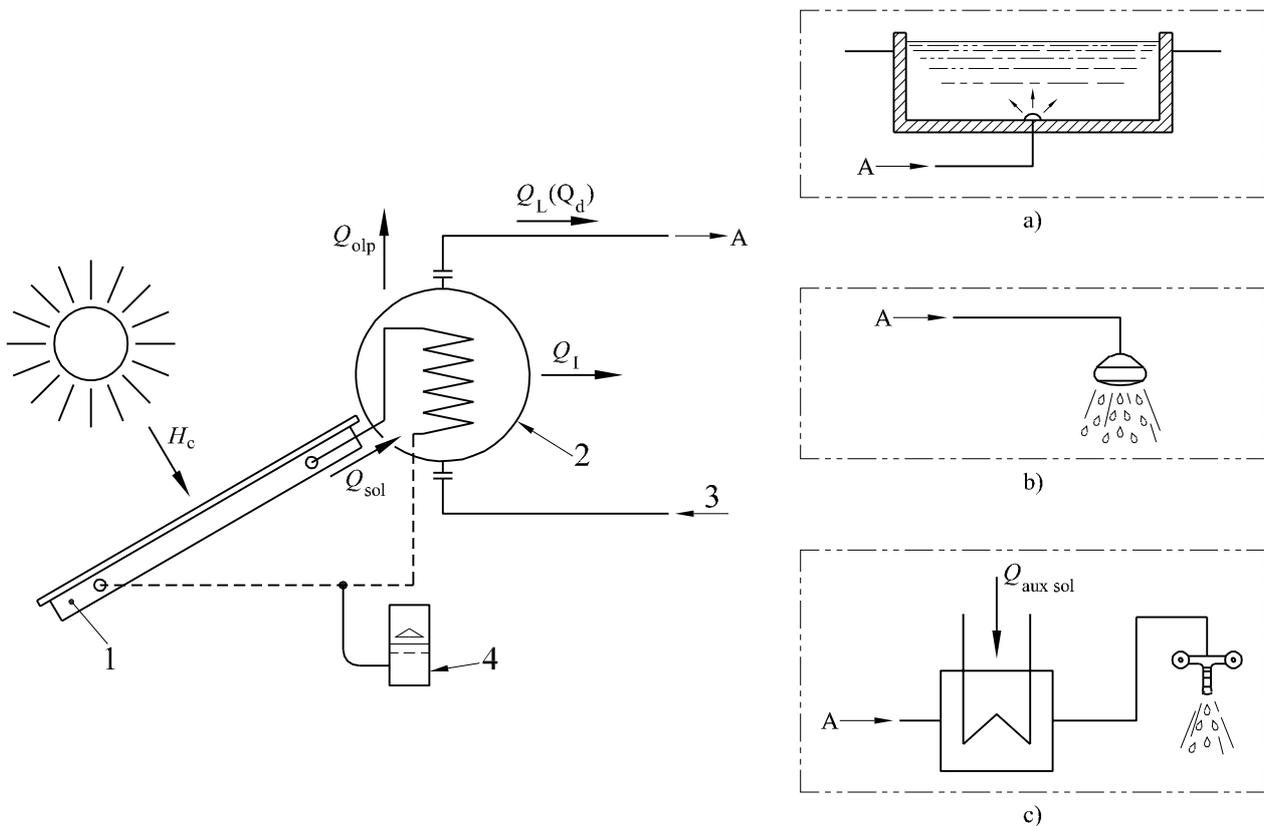
Applicazioni tipiche sono:

- riscaldamento di acqua per piscine;
- alimentazione di docce all'aperto;
- produzione di acqua calda sanitaria in abitazioni unifamiliari in combinazione con riscaldatore istantaneo (per esempio caldaie murali con idonei dispositivi di miscelazione).

figura B.1 – Sistema solare a circolazione naturale

Legenda

- 1 Collettore solare
- 2 Accumulo
- 3 Ingresso acqua fredda
- 4 Vaso d'espansione
- a) Piscina
- b) Doccia all'aperto
- c) Riscaldatore ausiliario (istantaneo)
- Q_d Fabbisogno di energia termica utile dell'edificio
- Q_L Fabbisogno di energia termica utile richiesta al sistema
- H_c Irraggiamento solare sul collettore
- Q_{sol} Energia solare trasferita dal circuito solare all'accumulo
- Q_{par} Fabbisogno di energia degli ausiliari
- Q_l Perdite termiche dell'accumulo
- Q_{olp} Energia solare dispersa all'esterno per eccesso di temperatura nell'accumulo
- $Q_{aux\ sol}$ Fabbisogno di energia d'integrazione





2 Sistema solare per il preriscaldamento dell'acqua senza riscaldatore ausiliario.

La figura B.2 illustra un circuito tipo per solo preriscaldamento di acqua calda che può trovare applicazioni diverse come:

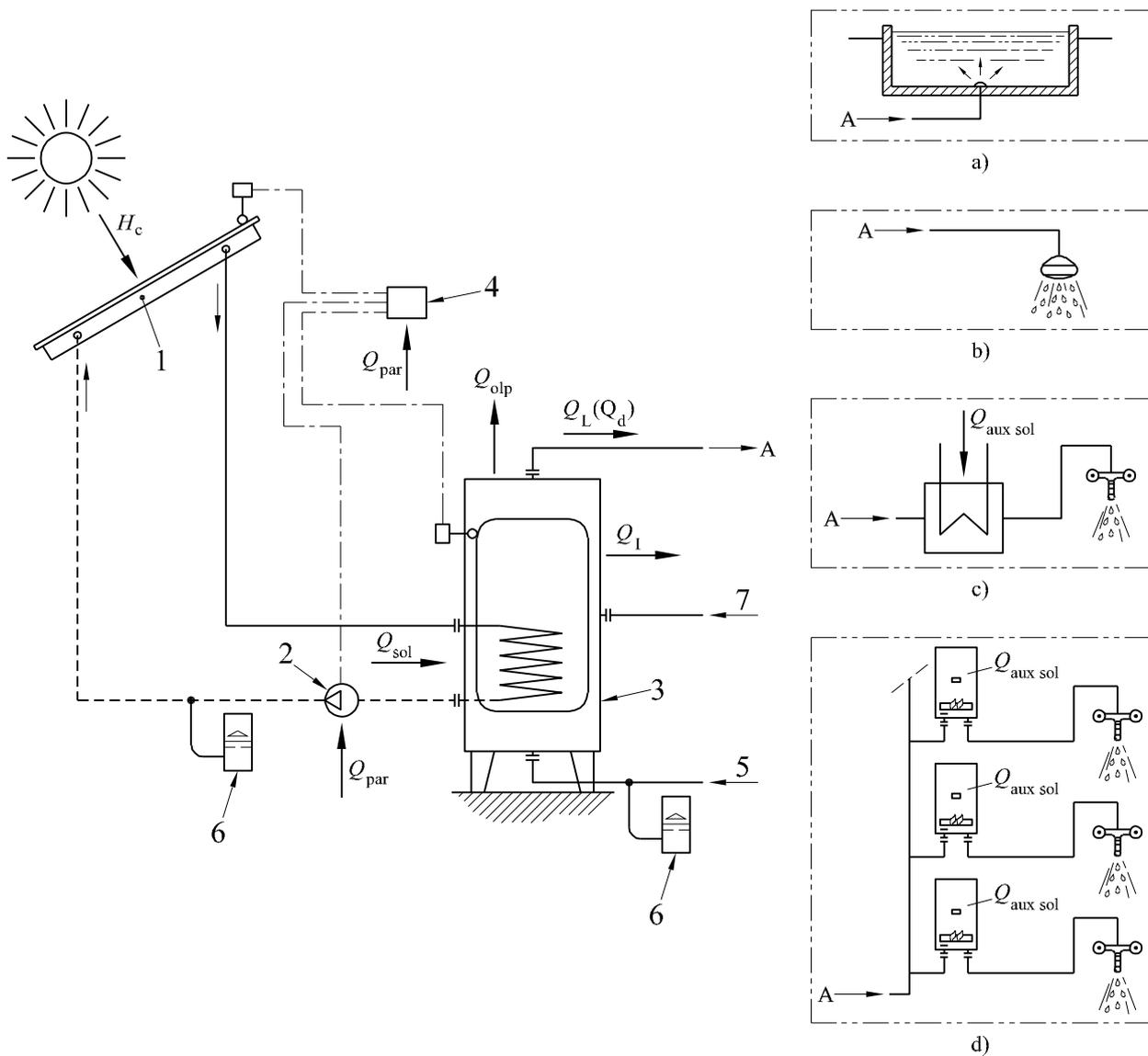
- riscaldamento di acqua per piscine;
- alimentazione di docce all'aperto;
- preriscaldamento accoppiato a riscaldatore ausiliario istantaneo;
- distribuzione centralizzata a generatori autonomi in più unità immobiliari.



figura B.2 – Sistema solare per il preriscaldamento dell'acqua senza riscaldatore ausiliario

Legenda

1	Collettore solare
2	Pompa
3	Accumulo
4	Centralina di controllo e regolazione
5	Ingresso acqua fredda
6	Vaso d'espansione
7	Eventuale ricircolo
a)	Piscina
b)	Doccia all'aperto
c)	Riscaldatore ausiliario (istantaneo)
d)	Generatori autonomi
Q_d	Fabbisogno di energia termica utile dell'edificio
Q_L	Fabbisogno di energia termica utile richiesta al sistema
H_c	Irraggiamento solare sul collettore
Q_{sol}	Energia solare trasferita dal circuito solare all'accumulo
Q_{par}	Fabbisogno di energia degli ausiliari
Q_l	Perdite termiche dell'accumulo
Q_{olp}	Energia solare dispersa all'esterno per eccesso di temperatura nell'accumulo
$Q_{aux sol}$	Fabbisogno di energia d'integrazione



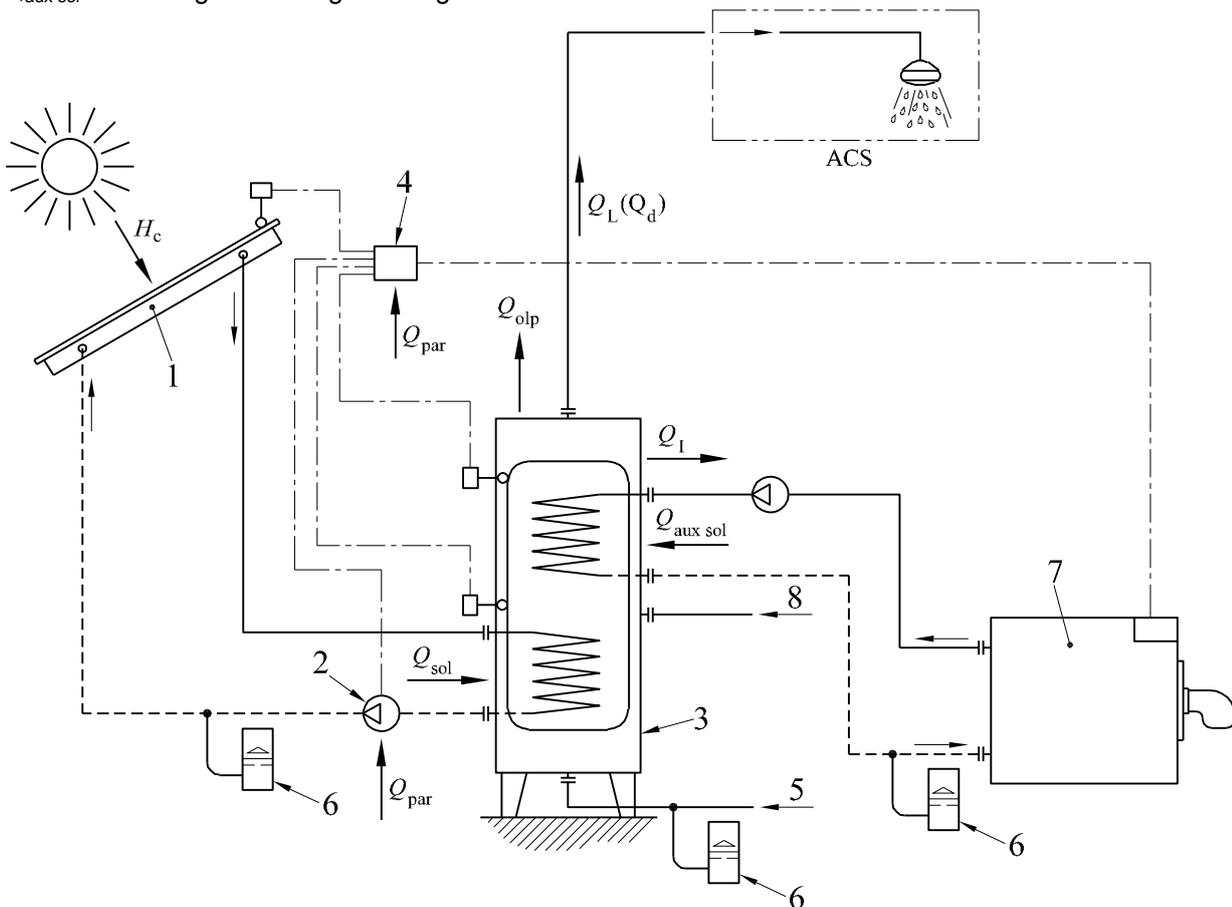
3 Sistema solare per acqua calda sanitaria con generatore di integrazione

La figura B.3 illustra un circuito sola produzione acqua calda sanitaria a circolazione forzata con serbatoio di accumulo a doppio serpentino con integrazione termica fornita da caldaia con combustione a fiamma di murale in impianti autonomi o a terra in centrale termica.

figura B.3 – Sistema solare per acqua calda sanitaria con generatore di integrazione

Legenda

- 1 Collettore solare
- 2 Pompa
- 3 Accumulo
- 4 Centralina di controllo e regolazione
- 5 Ingresso acqua fredda
- 6 Vaso d'espansione
- 7 Riscaldatore ausiliario
- 8 Eventuale ricircolo
- Q_d Fabbisogno di energia termica utile dell'edificio
- Q_L Fabbisogno di energia termica utile richiesta al sistema
- H_c Irraggiamento solare sul collettore
- Q_{sol} Energia solare trasferita dal circuito solare all'accumulo
- Q_{par} Fabbisogno di energia degli ausiliari
- Q_i Perdite termiche dell'accumulo
- Q_{olp} Energia solare dispersa all'esterno per eccesso di temperatura nell'accumulo
- $Q_{aux\ sol}$ Fabbisogno di energia d'integrazione





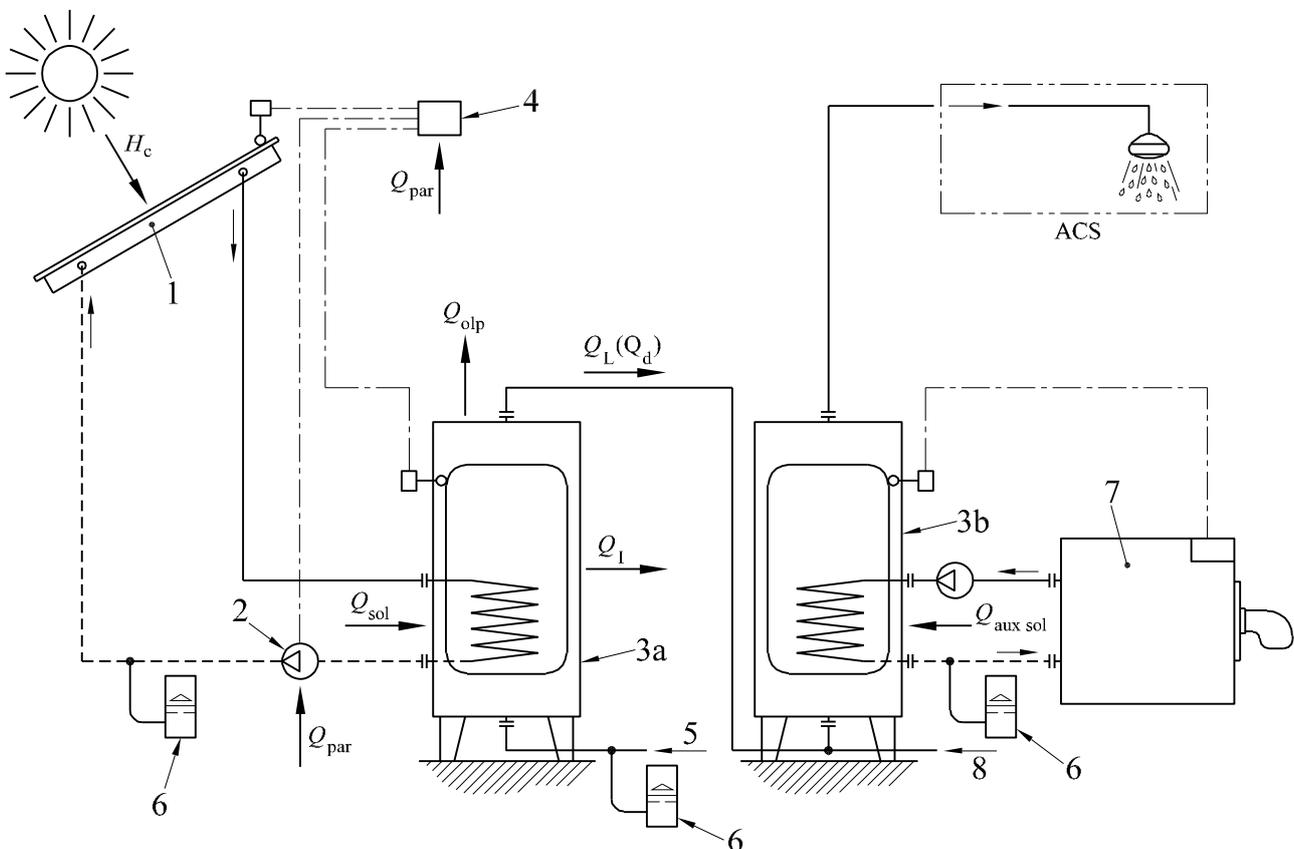
4 Sistema solare con accumulo di acqua calda in cascata

La figura B.4 illustra un circuito sola produzione acqua calda sanitaria a circolazione forzata con due bollitori. Nel primo si attua un riscaldamento dell'acqua e nel secondo l'integrazione termica con accumulo di acqua calda. La soluzione consente di ottenere rendimenti più elevati e di gestire ove richiesto circuiti a temperature diverse.

figura B.4 – Sistema solare con accumulo di acqua calda in cascata

Legenda

- 1 Collettore solare
- 2 Pompa
- 3a Accumulo Collettore Solare
- 3b Accumulo Riscaldatore ausiliario
- 4 Centralina di controllo e regolazione
- 5 Ingresso acqua fredda
- 6 Vaso d'espansione
- 7 Riscaldatore ausiliario
- 8 Eventuale ricircolo
- Q_d Fabbisogno di energia termica utile dell'edificio
- Q_L Fabbisogno di energia termica utile richiesta al sistema
- H_c Irraggiamento solare sul collettore
- Q_{sol} Energia solare trasferita dal circuito solare all'accumulo
- Q_{par} Fabbisogno di energia degli ausiliari
- Q_i Perdite termiche dell'accumulo
- Q_{olp} Energia solare dispersa all'esterno per eccesso di temperatura nell'accumulo
- $Q_{aux\ sol}$ Fabbisogno di energia d'integrazione





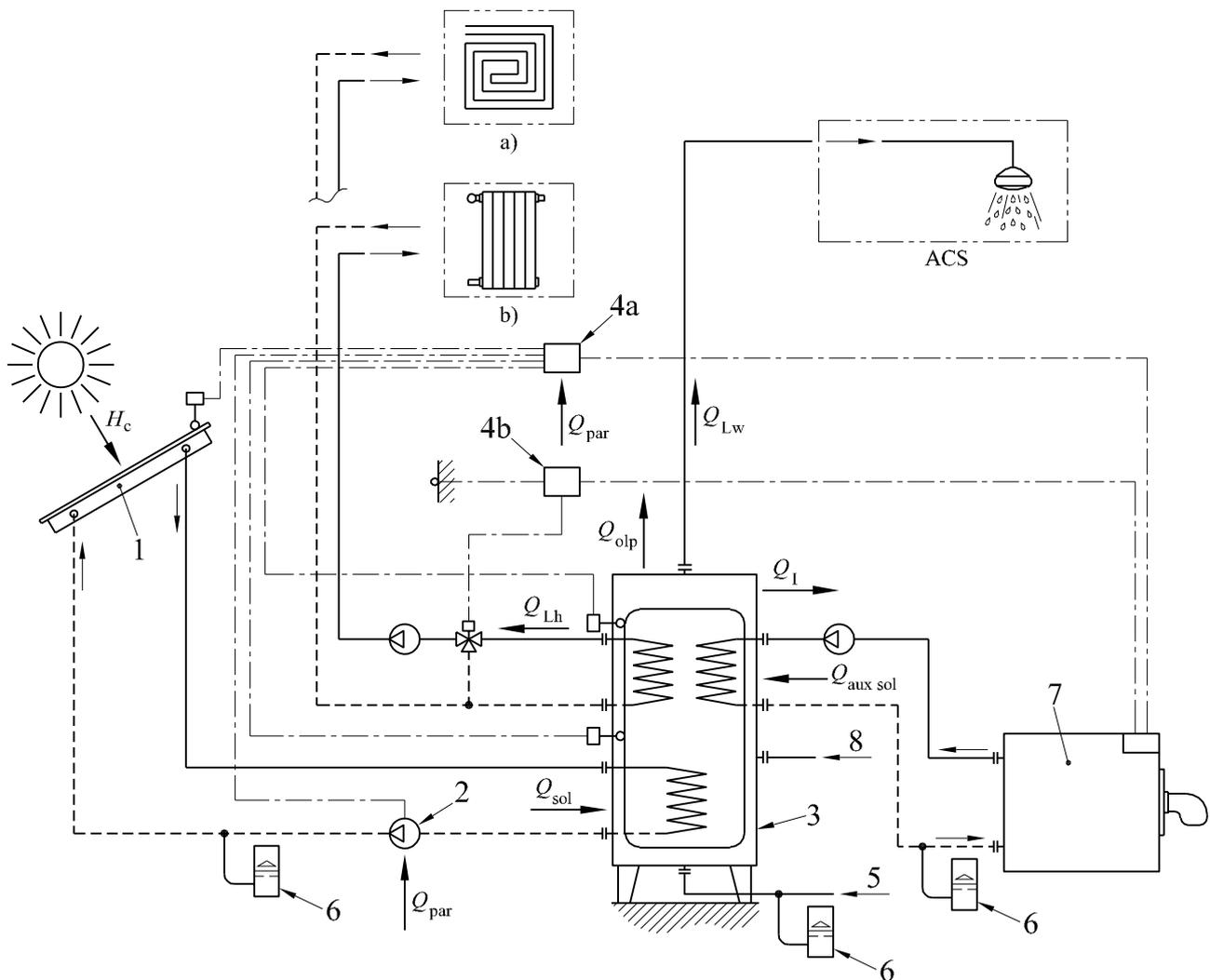
5 Sistema solare in impianto misto riscaldamento/acqua calda sanitaria

La figura B.5 illustra un impianto per riscaldamento di ambienti e produzione di acqua calda sanitaria con bollitore a intercapedine e triplo serpentino.

figura B.5 – Sistema solare in impianto misto riscaldamento/acqua calda sanitaria

Legenda

- 1 Collettore solare
- 2 Pompa
- 3 Accumulo
- 4a Centralina di controllo e regolazione circuito ACS
- 4b Centralina di controllo e regolazione circuito Riscaldamento ambienti
- 5 Ingresso acqua fredda
- 6 Vaso d'espansione
- 7 Riscaldatore ausiliario
- 8 Eventuale ricircolo
- a) Riscaldamento bassa temperatura
- b) Riscaldamento alta temperatura
- $Q_{L,W}$ Fabbisogno di energia termica utile ACS
- $Q_{L,H}$ Fabbisogno di energia termica utile riscaldamento ambienti
- H_c Irraggiamento solare sul collettore
- Q_{sol} Energia solare trasferita dal circuito solare all'accumulo
- Q_{par} Fabbisogno di energia degli ausiliari
- Q_l Perdite termiche dell'accumulo
- Q_{olp} Energia solare dispersa all'esterno per eccesso di temperatura nell'accumulo
- $Q_{aux\ sol}$ Fabbisogno di energia d'integrazione



6 Sistema solare in impianto misto riscaldamento/acqua calda sanitaria con accumulo sul fluido termovettore

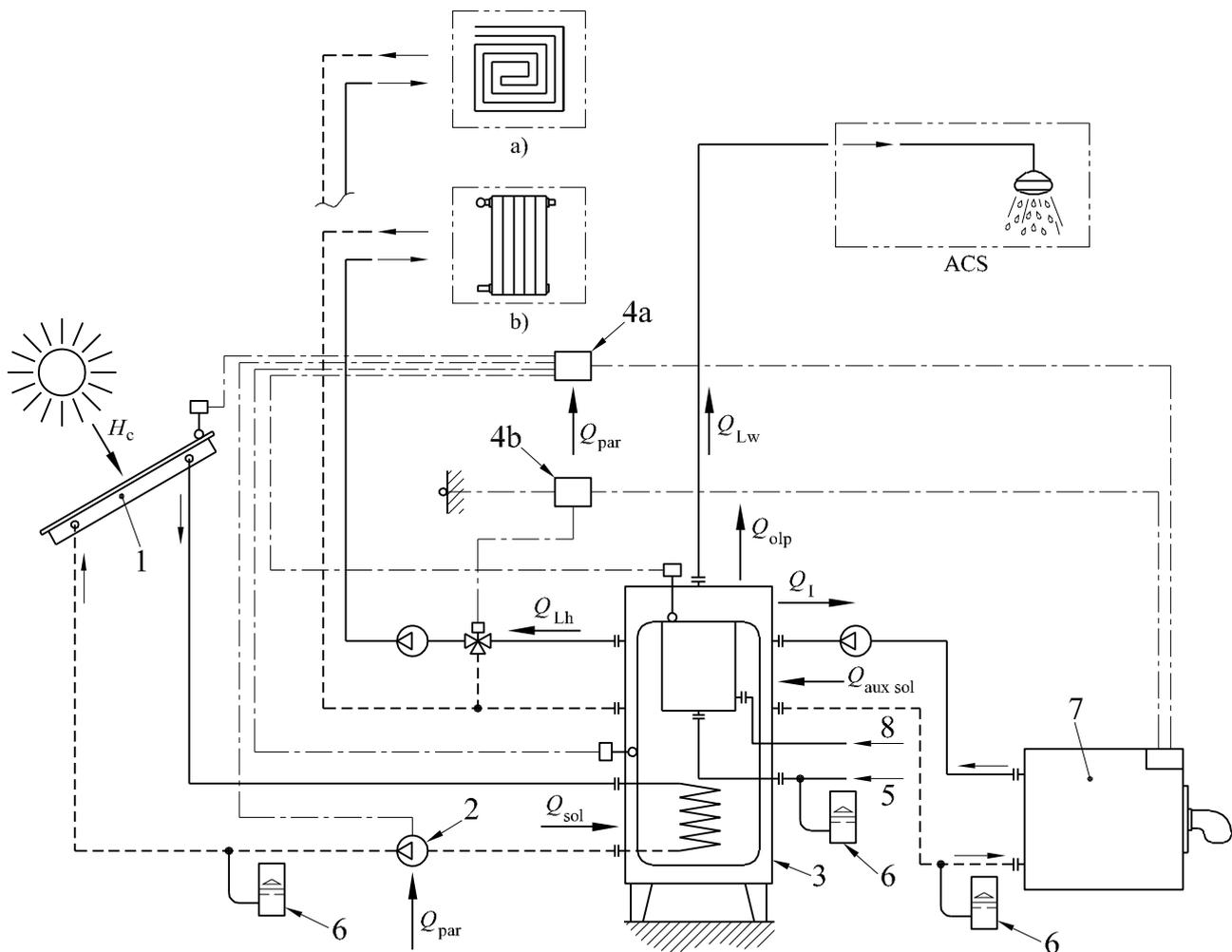
La figura B.6 illustra un circuito sola produzione solare per riscaldamento di ambienti e produzione di ACS con riscaldatore ausiliario (con accumulo di fluido termovettore). Il calore fornito dall'impianto solare riscalda il fluido termovettore, che costituisce fluido primario per lo scambiatore dell'ACS.



figura B.6 – Sistema solare in impianto misto riscaldamento/acqua calda sanitaria con accumulo sul fluido termovettore

Legenda

1	Collettore solare
2	Pompa
3	Accumulo
4a	Centralina di controllo e regolazione circuito ACS
4b	Centralina di controllo e regolazione circuito Riscaldamento ambienti
5	Ingresso acqua fredda
6	Vaso d'espansione
7	Riscaldatore ausiliario
8	Eventuale ricircolo
a)	Riscaldamento bassa temperatura
b)	Riscaldamento alta temperatura
$Q_{L,W}$	Fabbisogno di energia termica utile ACS
$Q_{L,H}$	Fabbisogno di energia termica utile riscaldamento ambienti
H_c	Irraggiamento solare sul collettore
Q_{sol}	Energia solare trasferita dal circuito solare all'accumulo
Q_{par}	Fabbisogno di energia degli ausiliari
Q_l	Perdite termiche dell'accumulo
Q_{olp}	Energia solare dispersa all'esterno per eccesso di temperatura nell'accumulo
$Q_{aux sol}$	Fabbisogno di energia d'integrazione



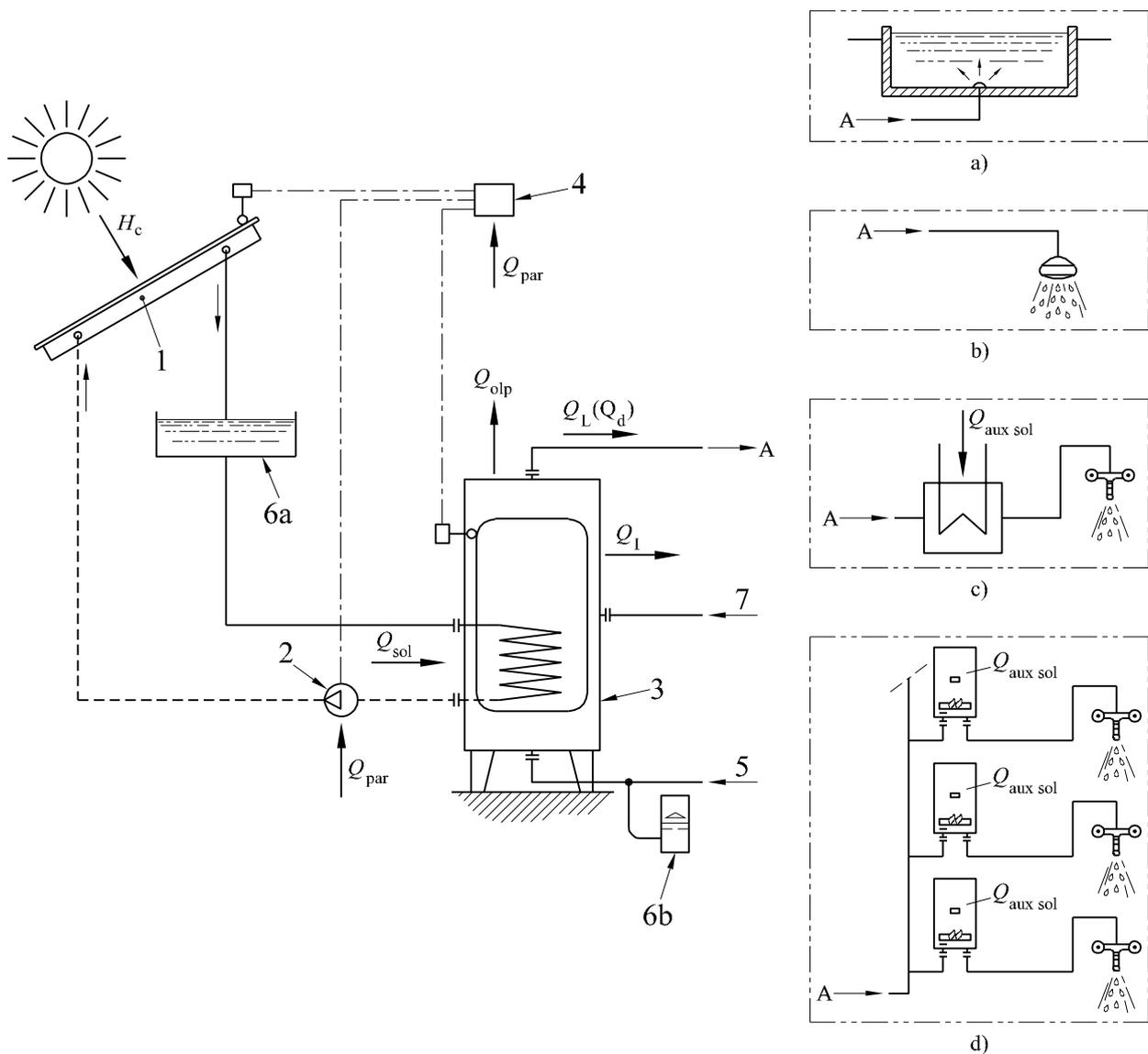
7 Sistema solare a svuotamento

La figura B.7 illustra un sistema a svuotamento per produzione di acqua calda sanitaria con utilizzi analoghi a quelli della figura C.2. Si utilizza in impianti dimensionati per coperture elevate di acqua calda nei quali si preveda la possibilità di superamento della temperatura di sicurezza nei mesi estivi.

Quando i dispositivi di regolazione e di sicurezza rilevano una temperatura dell'accumulo prossima all'ebollizione la centralina di regolazione ferma la pompa ed effettua lo svuotamento dei collettori solari.

**figura B.7 – Sistema solare a svuotamento****Legenda**

1	Collettore solare
2	Pompa
3	Accumulo
4	Centralina di controllo e regolazione
5	Ingresso acqua fredda
6a	Vaso d'espansione aperto
6b	Vaso d'espansione chiuso
7	Eventuale ricircolo
a)	Piscina
b)	Doccia all'aperto
c)	Riscaldatore ausiliario (istantaneo)
d)	Generatori autonomi
Q_d	Fabbisogno di energia termica utile dell'edificio
Q_L	Fabbisogno di energia termica utile richiesta al sistema
H_c	Irraggiamento solare sul collettore
Q_{sol}	Energia solare trasferita dal circuito solare all'accumulo
Q_{par}	Fabbisogno di energia degli ausiliari
Q_l	Perdite termiche dell'accumulo
Q_{olp}	Energia solare dispersa all'esterno per eccesso di temperatura nell'accumulo
$Q_{aux sol}$	Fabbisogno di energia d'integrazione



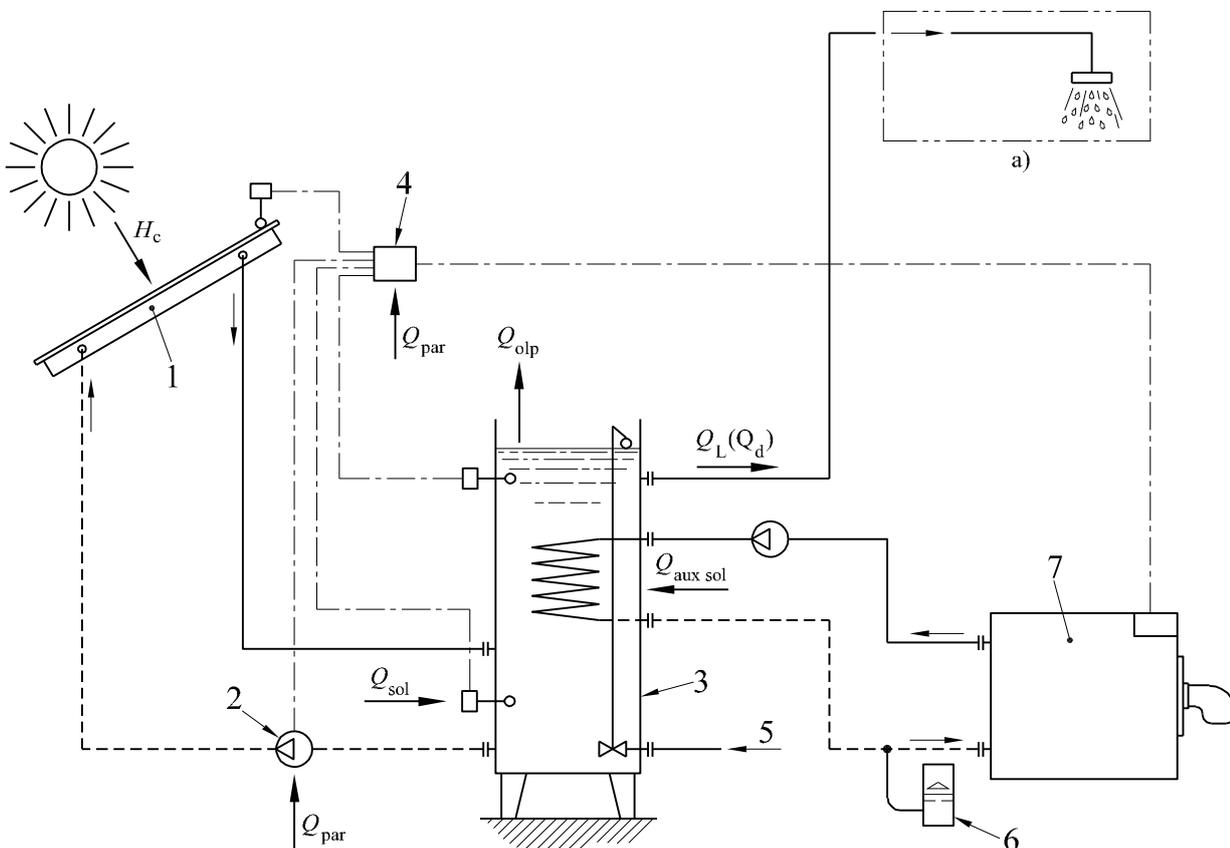
8 Sistema solare per produzione di acqua calda a temperatura prefissata

Per particolari esigenze, nell'industria o nell'agricoltura, occorre produrre acqua a temperatura prefissata e piuttosto elevata. Lo schema della figura B.8, nel quale si impiegano generalmente pannelli solari sottovuoto, consente di assolvere a tale esigenza.

figura B.8 – Sistema solare per produzione di acqua calda a temperatura prefissata

Legenda

- 1 Collettore solare
- 2 Pompa
- 3 Accumulo
- 4 Centralina di controllo e regolazione
- 5 Ingresso acqua fredda
- 6 Vaso d'espansione
- 7 Riscaldatore ausiliario
- a) Acqua di lavaggio e acqua di processo a temperatura determinata
- Q_d Fabbisogno di energia termica utile dell'edificio
- Q_L Fabbisogno di energia termica utile richiesta al sistema
- H_c Irraggiamento solare sul collettore
- Q_{sol} Energia solare trasferita dal circuito solare all'accumulo
- Q_{par} Fabbisogno di energia degli ausiliari
- Q_l Perdite termiche dell'accumulo
- Q_{olp} Energia solare dispersa all'esterno per eccesso di temperatura nell'accumulo
- $Q_{aux\ sol}$ Fabbisogno di energia d'integrazione





Appendice C (normativa)
Metodo B per il calcolo della quota di fabbisogno di energia termica soddisfatta da sistemi solari termici

C.1 Campo di applicazione

Il metodo di seguito descritto si applica a sistemi solari termici per sola produzione di acqua calda sanitaria, per solo riscaldamento o combinati. Sono esclusi i sistemi solari con collettori ad aria.

Il metodo si riferisce ad impianti solari formati da collettori uguali tra loro, omogenei per orientamento ed inclinazione, collegati in parallelo.

C.2 Procedura di calcolo

C.2.1 Generalità

Il metodo prevede l'utilizzo di dati dei componenti del sottosistema determinati mediante prove secondo le relative norme tecniche. La procedura di calcolo è basata sul metodo F-Chart e comprende i seguenti passi:

- 1) Fabbisogno applicato all'impianto solare termico e calcolo dei rapporti P_H e P_W ;
- 2) Calcolo del fattore adimensionale X ;
- 3) Calcolo del fattore adimensionale Y ;
- 4) Calcolo dell'energia solare prodotta mensilmente per riscaldamento di ambienti e/o per acqua calda sanitaria;
- 5) Calcolo del fabbisogno di energia degli ausiliari;
- 6) Calcolo delle perdite termiche;
- 7) Calcolo delle perdite recuperabili.

C.2.2 Fabbisogno applicato all'impianto solare termico

Il fabbisogno applicato all'impianto solare è quello delle reti di distribuzione di riscaldamento e/o di acqua calda sanitaria. Nel solo caso di impianti di preriscaldamento solare il fabbisogno applicato è quello in uscita dall'accumulo solare, coincidente con il fabbisogno in ingresso nell'accumulo.

Nel caso di sistema combinato si deve calcolare:

il rapporto P_H tra il fabbisogno dovuto al riscaldamento ambienti ed il fabbisogno totale:

$$P_H = Q_{H,gn,out} / (Q_{H,gn,out} + Q_{W,gn,out}) [-] \quad (C.1)$$

il rapporto P_W tra il fabbisogno per acqua calda sanitaria e il fabbisogno totale

$$P_W = Q_{W,gn,out} / (Q_{H,gn,out} + Q_{W,gn,out}) [-] \quad (C.2)$$

Nel caso di sistema per solo riscaldamento si pone:

$$P_H = 1$$

$$P_W = 0$$

Nel caso di sistema per sola acqua calda sanitaria si pone:

$$P_H = 0$$

$$P_W = 1$$



C.2.3 Energia prodotta dall'impianto solare termico

Il calcolo della produzione mensile di energia solare $Q_{sol,out}$ si effettua nei tre casi seguenti:

- sola produzione di acqua calda sanitaria

In questo caso l'energia termica prodotta dall'impianto solare, $Q_{W,sol,out}$ è calcolata con il metodo descritto utilizzando il solo fabbisogno per la produzione di acqua calda sanitaria e le caratteristiche dell'impianto (superficie dei collettori, capacità dell'accumulo, ecc.);

- solo riscaldamento ambienti

In questo caso l'energia prodotta dall'impianto di riscaldamento ad energia solare, $Q_{H,sol,out}$ è calcolata con il metodo descritto di seguito utilizzando il solo fabbisogno per il riscaldamento ambienti e le caratteristiche dell'impianto (superficie dei collettori, capacità dell'accumulo, ecc.);

- produzione combinata di acqua calda sanitaria e riscaldamento di ambienti

In questo caso l'energia solare prodotta, si calcola con il metodo descritto sommando il fabbisogno per riscaldamento ambienti, $Q_{H,sol,out}$, a quello per acqua calda sanitaria, $Q_{W,sol,out}$:

$$Q_{tot,sol,out} = Q_{W,sol,out} + Q_{H,sol,out} \text{ [kWh]} \quad (C.3)$$

dove:

$Q_{W,sol,out}$ è l'energia prodotta dal sottosistema solare per acqua calda sanitaria [kWh];

$Q_{H,sol,out}$ è l'energia prodotta dal sottosistema solare per riscaldamento di ambienti [kWh].

C.2.4 Ripartizione della superficie di apertura dei collettori

Nel caso di sistema combinato riscaldamento/acqua calda sanitaria la superficie di apertura del campo dei collettori viene suddivisa in due:

- una parte, relativa al solo riscaldamento ambienti, proporzionale al valore P_H ;
- una parte, relativa alla sola produzione di acqua calda sanitaria proporzionale al valore P_W .

Per il calcolo dei fattori X , Y e f_{st} la superficie dei collettori deve essere moltiplicata per il valore di P_H per calcolare l'energia prodotta per il riscaldamento ambienti e per il valore di P_W per calcolare l'energia prodotta per la produzione di acqua calda sanitaria.

C.2.5 Ripartizione del volume di accumulo

Nel caso di sistema combinato con unico sistema di accumulo:

- il volume dell'accumulo usata per il calcolo dell'energia prodotta per riscaldamento ambienti è pari alla capacità totale moltiplicata per P_H ;
- il volume dell'accumulo usata per il calcolo dell'energia prodotta per la produzione di acqua calda sanitaria è pari alla capacità totale moltiplicata per P_W .

In presenza di due accumuli distinti, uno per la sola produzione di acqua calda sanitaria e l'altro per la sola integrazione al riscaldamento ambienti, il rispettivo calcolo si effettua in base alle rispettive capacità degli accumuli.



C.2.6 Calcolo della produzione di energia solare

L'energia solare prodotta si calcola su base mensile mediante la seguente relazione: generale:

$$Q_{\text{sol,out,mese}} = (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) \times Q_{\text{gn,out,mese}} \text{ [kWh]} \quad (\text{C.4})$$

dove:

$Q_{\text{gn,out,mese}}$ è il fabbisogno mensile applicato all'impianto di riscaldamento ad energia solare [kWh]
 a, b, c, d, e, f sono coefficienti di correlazione che dipendono dalle caratteristiche del serbatoio di accumulo. I valori sono indicati nel prospetto A.1. I coefficienti sono differenziati a seconda che il sottosistema di generazione solare sia collegato a serbatoio di accumulo oppure direttamente a impianto di riscaldamento. [-]

X, Y sono fattori adimensionali definiti rispettivamente nei punti C.2.7 e C.2.8.

prospetto C.1 – Coefficienti di correlazione

Coefficienti di correlazione	Tipo di sistema	
	Sistema collegato ad accumulo	Sistema diretto (riscaldamento a pannelli)
a	1,029	0,863
b	-0,065	-0,147
c	-0,245	-0,263
d	0,0018	0,008
e	0,0215	0,029
f	0	0,025

L'energia prodotta dall'impianto di riscaldamento ad energia solare non può essere negativa. In tal caso la produzione di energia è posta pari a 0.

Se la produzione di energia solare risulta maggiore del fabbisogno essa viene considerata pari al fabbisogno.

C.2.7 Determinazione del fattore adimensionale X

Il valore del fattore adimensionale X si determina, rispettivamente per riscaldamento e acqua calda sanitaria, con le relazioni:

$$X_H = A \times U_{\text{loop}} \times \eta_{\text{loop}} \times \Delta T \times f_{\text{st}} \times t_m / (Q_{\text{H,gn,out,mese}} \times 10^3) \quad [-] \quad (\text{C.5})$$

con $0 \leq X_H \leq 18$

$$X_W = A \times U_{\text{loop}} \times \eta_{\text{loop}} \times \Delta T \times f_{\text{st}} \times t_m / (Q_{\text{W,gn,out,mese}} \times 10^3) \quad [-] \quad (\text{C.6})$$

con $0 \leq X_W \leq 18$



dove:

- $Q_{w,gn,out,mese}$ è il fabbisogno mensile applicato all'impianto solare termico, rispettivamente riferito ad acqua calda sanitaria e a riscaldamento [kWh];
- A è la superficie di apertura del collettore solare ossia l'area di captazione netta in accordo con la UNI EN 12975-2 [m²];
- U_{loop} è il coefficiente di perdita di energia del circuito del collettore comprendente il collettore stesso e le tubazioni, determinato secondo il punto A.2.6.1 [W/(m²K)];
- η_{loop} è il rendimento del circuito comprendente collettori, circolatore, tubazioni e scambiatore di calore. Quando tale valore non sia fornito dal fabbricante si assume $\eta_{loop} = 0,8$. Nel caso siano noti i dati forniti dal fabbricante si calcola come segue:
- $$\eta_{olloop} = 1 - \Delta\eta$$
- $$\Delta\eta = (\eta_{l0} \times A \times a_1) / (U_{st})_{hx} \quad \text{dove:}$$
- η_{l0} è il rendimento del collettore a perdite nulle;
- A è l'area di apertura del collettore [m²];
- a_1 coefficiente di primo ordine di dispersione del collettore;
- $(U_{st})_{hx}$ coefficiente di scambio termico dello scambiatore di calore [W/K];
- ΔT è la differenza di temperatura di riferimento calcolata secondo il punto A.2.6.2;
- f_{st} è il coefficiente di correzione della capacità dell'accumulo, determinato secondo il punto A.2.6.3;
- t_m è la durata del periodo di calcolo assunta pari alle ore del mese [h].

C.2.7.1 Calcolo del coefficiente di perdita di energia del circuito del collettore U_{loop}

Il parametro U_{loop} rappresenta il coefficiente di perdita globale del circuito solare che comprendente sia le perdite termiche del collettore che quelle dovute alle tubazioni di connessione. Tale parametro è definito come segue:

$$U_{loop} = a_1 + 40 a_2 + U_{loop,p} / A \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad (\text{C.7})$$

dove:

- a_1 è il coefficiente di perdita globale del collettore solare del primo ordine determinato in accordo alla UNI EN 12975-2 [W/m²K].
In assenza di dati forniti dal costruttore possono essere utilizzati i valori di default riportati nel prospetto A.2
- a_2 è il coefficiente di perdita globale del collettore solare del secondo ordine, determinato in accordo alla UNI EN 12975-2 [W/m²K²].
In assenza di dati forniti dal costruttore possono essere utilizzati i valori di default riportati nel prospetto A.2

Nota I parametri a_1 e a_2 sono quelli ottenuti secondo la UNI EN 12975-2 e devono essere quelli riferiti all'area di apertura del collettore.

$U_{loop,p}$ è il coefficiente globale di perdita di calore delle tubazioni nel circuito comprendente collettori, tubazioni tra collettori e le tubazioni tra i collettori ed il sistema di accumulo, calcolato come:

$$U_{loop,p} = 5 + 0,5 A \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \times \text{K})] \quad (\text{C.8})$$

dove:

- A è la superficie di apertura del collettore [m²]



Nel caso di impianti solari combinati, nella (C.5) e (C.6) si deve inserire lo stesso valore di $U_{loop,p}$ calcolato con l'area A totale dei collettori.

C.2.7.2 Calcolo della differenza di temperatura di riferimento ΔT

La differenza di temperatura di riferimento ΔT si calcola con l'equazione:

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_{e,avg} \quad (C.9) \quad [K]$$

dove:

θ_{ref} è la temperatura di riferimento;

$\theta_{e,avg}$ è la temperatura media dell'ambiente esterno nel periodo considerato [°C].

Nel caso di sistemi solari termici per riscaldamento si assume:

$$\theta_{ref} = 100^{\circ}C$$

Nel caso di sistemi solari termici per acqua calda sanitaria:

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,18 \theta_w + 3,86 \theta_{cw} - 2,32 \theta_{e,avg} \quad [^{\circ}C] \quad (C.10) \quad [^{\circ}C]$$

dove:

θ_w è la temperatura di utilizzo dell'acqua calda sanitaria pari a 40°C;

θ_{cw} è la temperatura dell'acqua fredda all'ingresso nell'accumulo [°C]. Come specificato nella UNI/TS 11300-2:2008 la temperatura media mensile dell'acqua fredda in ingresso si assume pari a 15°C salvo i casi particolari indicati nella specifica tecnica.

C.2.7.3 Calcolo del coefficiente di correzione della capacità di accumulo f_{st}

Nel caso di accumulo ad acqua, il coefficiente di correzione f_{st} è dato da:

$$f_{st} = (A \times V_{ref}/V_{sol})^{0,25} \quad [-] \quad (C.11)$$

dove:

A è la superficie di apertura dei collettori [m²];

V_{ref} è il volume di riferimento pari a 75 l/m² di superficie di apertura del collettore solare [l];

V_{sol} è il volume del serbatoio (parte riscaldata dal sistema solare) [l].

I valori ammessi di f_{st} sono quelli compresi nell'intervallo $0,25 \leq f_{st} \leq 2$

Nel caso di impianti a preriscaldamento solare la capacità dell'accumulo solare coincide con il valore nominale ($V_{sol} = V_{nom}$).

Nel caso invece in cui sia presente un riscaldatore ausiliario la capacità dell'accumulo è data da:

$$V_{sol} = V_{nom} \times (1 - f_{aux}) \quad (C.12) \quad [l]$$

dove:

f_{aux} frazione del volume di accumulo usata per i sistemi ausiliari;

V_{nom} capacità nominale di accumulo [l].



Il valore di f_{aux} è dato da:

$$f_{aux} = x \times V_{bu}/V_{nom} \quad (C.13) \quad [-]$$

dove:

V_{bu} è il volume riscaldato dal sistema di back up (volume contenuto tra la sommità del serbatoio e il filo inferiore del riscaldatore (resistenza elettrica o scambiatore);

x è il coefficiente di controllo assunto pari a:

1 se l'integrazione è permanente;

0,7 se l'integrazione avviene solo durante la notte;

0,3 se l'integrazione è di sola emergenza.

prospetto C.2 – Caratteristiche dei collettori solari

Tipologia del collettore	η_0	a_1 [W/(m ² × K)]	a_2 [W/(m ² × K)]	IAM
Collettori a tubi sottovuoto con assorbitore piano	0,90	1,8	0,008	0,97
Collettori a tubi sottovuoto con assorbitore circolare	0,90	1,8	0,008	1,00
Collettori piani vetrati	0,78	3,5	0,015	0,94
Collettori non vetrati	0,76	15	0	1,00

C.2.8 Calcolo del fattore adimensionale Y

Il valore di Y è dato dalla seguente equazione:

$$Y = A \times IAM \times \eta_0 \times \eta_{loop} \times I_m \times t_m / (Q_{gn,out,mese} \times 10^3) \quad (C.14) \quad [-]$$

con la condizione: $0 \leq Y \leq 3$

dove:

A superficie di aperture del collettore secondo la UNI EN 12975-2 [m²];

IAM modificatore dell'angolo di incidenza secondo la UNI EN 12975-2;

In assenza di dati forniti dal fabbricante, valori di default sono forniti nel prospetto C.2;

η_0 è il rendimento del collettore a perdite nulle determinato secondo UNI EN 12975-2 e riferito all'area di apertura del collettore;

In assenza di dati forniti dal fabbricante, valori di default sono forniti nel prospetto C.2;

η_{loop} è il rendimento del circuito comprendente collettori, circolatore o ventilatore, tubazioni e scambiatore di calore. Quando tale valore non sia fornito dal fabbricante si assume $\eta_{loop} = 0.8$;

I_m è il valore di irradianza solare sul piano del collettore nel periodo considerato [W/m²].

Il valore I_m è calcolato secondo UNI/TR 11328. In assenza di evidenti indicazioni contrarie non si considerano ombreggiamenti;

t_m è la durata in ore del mese considerato [h];



$Q_{gn,out,mese}$ è il fabbisogno termico applicato all'impianto di riscaldamento ad energia solare che nel caso di sistemi combinati deve essere distinto tra quota per riscaldamento e quota per acqua calda sanitaria [kWh].

C.2.9 Fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari

Nei sottosistemi a circolazione naturale si ha un fabbisogno nullo di energia elettrica.

Il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari degli impianti solari termici a circolazione forzata è dato da:

$$Q_{sol,aux,m} = W_{aux,nom} \times t_{aux,m} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.15})$$

dove:

$W_{aux,nom}$ è la potenza nominale complessiva dei circolatori [W].

In mancanza di tale dato si può assumere:

$$W_{aux,nom} = 50 + 5A \quad [\text{W}].$$

dove: A è la superficie di apertura del collettore [m^2].

Nel caso di impianti solari combinati nella (C.15) si introduce un unico valore $W_{aux,nom}$ calcolato con l'area totale dei collettori.

$t_{aux,m}$ numero di ore mensili di funzionamento del circolatore.

Per determinare le ore di funzionamento mensili degli ausiliari elettrici, si assume il periodo di funzionamento annuale della durata di 2000 h, in accordo alla UNI EN 12976-2. I valori mensili del periodo di funzionamento degli ausiliari, si determinano moltiplicando il periodo di funzionamento annuale per la percentuale mensile dell'irradianza solare di ciascun mese: Si ha:

per il calcolo relativo all'acqua calda sanitaria si ha:

$$t_{aux,W,m} = (2000 \times I_{sol} \times P_W) / \Sigma I_{sol} \quad (\text{C.16})$$

per il calcolo relativo al riscaldamento si ha:

$$t_{aux,H,m} = (2000 \times I_{sol} \times N_{g,H,mese} \times P_H) / (\Sigma I_{sol} \times N_{g,H}) \quad (\text{C.17})$$

dove:

$N_{g,H,mese}$ è il numero di giorni di riscaldamento nel mese

$N_{g,H}$ è il numero di giorni di riscaldamento nella stagione



C.2.10 Perdite dell'impianto solare termico

C.2.10.1 Generalità

Le perdite totali si calcolano su base mensile e sono date dalla somma delle perdite degli accumuli per acqua calda sanitaria e per riscaldamento e delle perdite di distribuzione tra il sottosistema solare termico e il sottosistema ausiliario di integrazione:

$$Q_{sol,ls,m} = Q_{Wol,s,ls,m} + Q_{H,sol,sts,ls,m} + Q_{bu,dis,ls,m} \quad (C.18)$$

dove:

- $Q_{Wol,s,ls,m}$ sono le perdite di accumulo per acqua calda sanitaria;
- $Q_{H,sol,sts,ls,m}$ sono le perdite di accumulo per riscaldamento;
- $Q_{bu,dis,ls,m}$ sono le perdite di distribuzione tra il sottosistema solare termico e il sottosistema ausiliario di integrazione.

C.2.10.2 Perdite di accumulo

Le perdite dell'accumulo o degli accumuli solari sono determinabili secondo la metodologia di cui al punto 6.9.3 della UNI/TS 11300-2:2008, utilizzando:

- l'equazione (31), qualora sia disponibile il coefficiente di perdita globale di energia dell'accumulo U_{st} [WK] dichiarato dal costruttore, (indicato con k_{poll} nella UNI/TS 11300-2:2008);
- oppure:
- l'equazione (32), qualora non siano disponibili dati dichiarati dal costruttore, ma siano disponibili entità e caratteristiche della superficie disperdente dell'accumulo.

L'attribuzione di tali perdite al sottosistema di generazione solare deve essere eseguita tenendo conto dell'effettiva configurazione degli accumuli e delle funzioni cui essi sono dedicati, con particolare attenzione al caso in cui il sottosistema solare sia parte di un sistema di generazione polivalente (per esempio solare termico + generatore/i a biomasse + generatore/i a gas). In quest'ultimo caso è infatti frequente l'adozione di accumuli multifunzione che, grazie a scambiatori interni ai medesimi, possono assolvere nel contempo a una pluralità di compiti (per esempio accumulo inerziale per il solare termico, accumulo inerziale per i generatori a biomasse e/o per le caldaie a condensazione a gas, stoccaggio dell'acqua calda sanitaria in temperatura, ecc.).

In linea generale, in presenza di accumuli multifunzione, l'attribuzione delle perdite dei medesimi ai singoli sottosistemi di generazione costituenti il sistema polivalente deve essere eseguita in proporzione all'energia utile prodotta da questi ultimi. Anche l'attribuzione delle perdite ai singoli servizi (riscaldamento o acqua calda sanitaria) si esegue in proporzione alle energie utili di pertinenza dei singoli servizi.



A titolo esemplificativo e non esaustivo si riportano nel seguito alcuni casi.

Caso 1

Nel caso di unico accumulo dedicato sia alla funzione inerziale per il solare sia al back up (per esempio figura B.3), per la sola produzione di acqua calda sanitaria, per il quale il costruttore abbia fornito il valore di U_{st} , la quota della perdita mensile dell'accumulo attribuibile al sottosistema di generazione solare è,

$$Q_{W,sol,st,ls,m} = U_{st} \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times (Q_{W,sol,out,m} / Q_{W,sol,us,m}) \times t_m \times 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.19})$$

dove:

t_m sono le ore nel mese [h];

$\theta_{set\ point}$ è la temperatura media nell'accumulo di acqua calda sanitaria, assunta pari a 60°C;

$\theta_{a,avg}$ temperatura media dell'aria dell'ambiente in cui l'accumulo è installato, nel periodo di calcolo considerato [°C].

La quota della perdita mensile dell'accumulo attribuibile al sottosistema di back up è invece:

$$Q_{W,bu,st,ls,m} = U_{st} \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times [(Q_{W,sol,us,m} - Q_{W,sol,out,m}) / Q_{W,sol,us,m}] \times t_m \times 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.20})$$

La perdita complessiva dell'accumulo è:

$$Q_{W,st,ls,m} = Q_{W,sol,st,ls,m} + Q_{W,bu,st,ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.21})$$

Caso 2

Nel caso analogo al caso 1, ma per impianto dedicato solo al riscaldamento, la quota della perdita mensile dell'accumulo attribuibile al sottosistema di generazione solare è:

$$Q_{H,sol,st,ls,m} = U_{st} \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times (Q_{H,sol,out,m} / Q_{H,sol,us,m}) \times t_m \times 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.22})$$

dove: $\theta_{set\ point}$ è la temperatura media del sistema di distribuzione dell'impianto di riscaldamento [°C].

La quota della perdita mensile dell'accumulo attribuibile al sottosistema di back up è invece:

$$Q_{H,bu,st,ls,m} = U_{st} \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times [(Q_{H,sol,us,m} - Q_{H,sol,out,m}) / Q_{H,sol,us,m}] \times t_m \times 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.23})$$

La perdita complessiva dell'accumulo è:

$$Q_{H,st,ls,m} = Q_{H,sol,st,ls,m} + Q_{H,bu,st,ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.24}).$$

In maniera del tutto analoga ai due casi 1 e 2 sopra citati, ma nell'ipotesi in cui, in luogo di U_{st} , siano disponibili i seguenti dati:

S_s , superficie esterna dell'accumulo [m²];

d_s , spessore dello strato coibente [m];

λ_s , conduttività dello strato coibente [W/m·K];

le C.19 e C.20 del caso 1 diventano rispettivamente:

$$Q_{W,sol,st,ls,m} = S_s / d_s \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times \lambda_s \times (Q_{W,sol,out,m} / Q_{W,sol,us,m}) \times t_m \times 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.25})$$



$$Q_{W,bu,st,ls,m} = S_s/d_s \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times \lambda_s \times [(Q_{W,sol,us,m} - Q_{W,sol,out,m}) / Q_{W,sol,us,m}] \times t_m \times 10^{-3} \quad [kWh] \quad (C.26)$$

mentre le formule C.22 e C.23 del caso 2 diventano rispettivamente:

$$Q_{H,sol,st,ls,m} = S_s/d_s \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times \lambda_s \times (Q_{H,sol,out,m} / Q_{H,sol,us,m}) \times t_m \times 10^{-3} \quad [kWh] \quad (C.27)$$

$$Q_{H,bu,st,ls,m} = S_s/d_s \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times \lambda_s \times [(Q_{H,sol,us,m} - Q_{H,sol,out,m}) / Q_{H,sol,us,m}] \times t_m \times 10^{-3} \quad [kWh] \quad (C.28)$$

Caso 3

Nel caso invece di unico accumulo dedicato sia alla funzione inerziale per il solare sia al back up, per la produzione combinata di acqua calda sanitaria e il riscaldamento (per esempio figura B.5), per il quale il costruttore abbia fornito il valore di U_{st} , la quota della perdita mensile dell'accumulo attribuibile al sottosistema di generazione solare è:

per il servizio acqua calda sanitaria:

$$Q_{W,sol,st,ls,m} = U_{st} \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times [Q_{W,sol,out,m} / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m})] \times t_m \times 10^{-3} \quad [kWh] \quad (C.29)$$

per il servizio riscaldamento:

$$Q_{H,sol,st,ls,m} = U_{st} \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times [Q_{H,sol,out,m} / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m})] \times t_m \times 10^{-3} \quad [kWh] \quad (C.30)$$

Nelle quali $\theta_{set\ point}$ è la temperature media dell'accumulo, che deve essere ragionevolmente adottata in funzione delle caratteristiche del serbatoio adottato [°C].

Mentre la quota della perdite mensile dell'accumulo attribuibile al sottosistema di back up è

- per il servizio acqua calda sanitaria:

$$Q_{W,bu,st,ls,m} = U_{st} \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times [(Q_{W,sol,us,m} - Q_{W,sol,out,m}) / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m})] \times t_m \times 10^{-3} \quad [kWh] \quad (C.31)$$

- per il servizio riscaldamento:

$$Q_{H,bu,st,ls,m} = U_{st} \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times [(Q_{H,sol,us,m} - Q_{H,sol,out,m}) / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m})] \times t_m \times 10^{-3} \quad [kWh] \quad (C.32)$$

La perdita complessiva dell'accumulo è data da:

$$Q_{HW,st,ls,m} = Q_{W,sol,st,ls,m} + Q_{H,sol,st,ls,m} + Q_{W,bu,st,ls,m} + Q_{H,bu,st,ls,m} \quad [kWh] \quad (C.33)$$

In maniera del tutto analoga al caso 3 sopra citato, ma nell'ipotesi in cui, in luogo di U_{st} , siano disponibili i seguenti dati:

- S_s , superficie esterna dell'accumulo [m²];
- d_s , spessore dello strato coibente [m];
- λ_s , conduttività dello strato coibente [W/m × K];

le (C.29) e (C.30) del caso 3 diventano rispettivamente:



per il servizio acqua calda sanitaria:

$$Q_{W,sol,st,ls,m} = S_s/d_s \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times \lambda_s \times [Q_{W,sol,out,m} / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m})] \times t_m \times 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.34})$$

per il servizio riscaldamento:

$$Q_{H,sol,st,ls,m} = S_s/d_s \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times \lambda_s \times [Q_{H,sol,out,m} / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m})] \times t_m \times 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.35})$$

mentre le (C.31) e (C.32) del caso 3 diventano rispettivamente:

per il servizio acqua calda sanitaria:

$$Q_{W,bu,st,ls,m} = S_s/d_s \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times \lambda_s \times [(Q_{W,sol,us,m} - Q_{W,sol,out,m}) / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m})] \times t_m \times 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.36})$$

per il servizio riscaldamento

$$Q_{H,bu,st,ls,m} = S_s/d_s \times (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \times \lambda_s \times [(Q_{H,sol,us,m} - Q_{H,sol,out,m}) / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m})] \times t_m \times 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.37})$$

Caso 4

In presenza di un impianto solare di preriscaldamento, con accumulo solare separato rispetto all'accumulo recante il back up, dedicato esclusivamente alla produzione di acqua calda sanitaria (vedere figura B.4), le perdite dei due accumuli devono essere calcolate separatamente, applicando la metodologia del punto 6.9.3 della UNI/TS 11300-2:2008 a ciascuno dei due accumuli, stimando opportunamente le temperature medie dell'acqua nei medesimi.

C.2.10.3 Perdite di distribuzione tra il sistema solare termico ed il riscaldatore ausiliario.

Le perdite di distribuzione tra il sistema solare termico e il riscaldatore di integrazione si calcolano come segue:

- se le tubazioni sono isolate:

$$Q_{bu,dis,ls,m} = 0,02 \times Q_{sol,out,m} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.38})$$

- se le tubazioni non sono isolate:

$$Q_{bu,dis,ls,m} = 0,05 \times Q_{sol,out,m} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.39})$$

C.2.11 Perdite recuperabili dall'impianto solare termico

C.2.11.1 Generalità

Le perdite totali recuperabili dall'impianto di riscaldamento ad energia solare sono calcolate mediante la seguente relazione:

$$Q_{sol,ls,rbl,mese} = Q_{sol,s,ls,rbl,m} + Q_{sol,d,ls,rbl,m} + Q_{sol,aux,rbl,m} \quad (\text{C.40})$$



dove:

- $Q_{sol,s,ls,rbl,m}$ sono le perdite recuperabili dal serbatoio di accumulo;
 $Q_{sol,d,ls,rbl,m}$ sono le perdite recuperabili dal circuito di collegamento tra il serbatoio di accumulo e il riscaldatore ausiliario;
 $Q_{sol,aux,rbl,m}$ è l'energia termica recuperabili dagli ausiliari elettrici;

C.2.11.2 Perdite recuperabili e recuperate dal serbatoio di accumulo

Nel caso di impianto solare destinato ad integrare esclusivamente la produzione di acqua calda sanitaria, le perdite dell'accumulo solare si considerano recuperabili durante il periodo di attivazione del riscaldamento, quando esso è installato in ambiente riscaldato. In questo caso le perdite recuperabili si considerano recuperate sottraendole al fabbisogno per riscaldamento Q_h , secondo la (1) della UNI/TS 11300-2:2008.

Conformemente alla (33) della UNI/TS 11300-2:2008, nel caso di impianto di preriscaldamento solare con accumulo solare distinto rispetto all'accumulo recante il back up, le perdite recuperate dall'accumulo destinato al solare sono date da:

$$Q_{W,sol,st,ls,rvd,m} = Q_{W,sol,st,ls,m} \times (1 - b_{g,W}) \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.41})$$

dove:

- $b_{g,W} = 0$ se in ambiente riscaldato;
 $b_{g,W} = 1$ se fuori dall'ambiente riscaldato.

Nel caso invece di unico serbatoio dedicato sia ad accumulo solare sia al back up, le perdite recuperate dall'intero accumulo (quindi sia per la quota solare sia per la quota back up) sono date da:

$$Q_{W,st,ls,rvd,m} = Q_{W,st,ls,m} \times (1 - b_{g,W}) \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.42})$$

dove:

- $b_{g,W} = 0$ se in ambiente riscaldato;
 $b_{g,W} = 1$ se fuori dall'ambiente riscaldato.

Nota Nella (C.42) si è volutamente eliminato il pedice "sol" dai simboli per evidenziare che in questo caso il recupero della perdita avviene dall'accumulo nel suo complesso, sia per la quota solare sia per la quota back up.

Nel caso invece di impianto solare destinato al riscaldamento, oppure misto, fermo restando che le perdite dell'accumulo solare si considerano recuperabili durante il periodo di attivazione del riscaldamento, quando esso è installato in ambiente riscaldato, le perdite recuperabili si considerano recuperate sottraendole, previa moltiplicazione per il fattore 0,8, alle perdite del sottosistema di generazione di cui l'impianto solare fa parte.

A titolo esemplificativo e non esaustivo si riportano di seguito alcuni esempi.

Caso 1 del punto C.2.10.2

Si applica la (C.42), nella quale $Q_{W,st,ls,m}$ è dato dalla (C.21). La perdita recuperata così calcolata è sottratta al Q_h , come da formula (1) della UNI/TS 11300-2:2008.

Caso 2 del punto C.2.10.2

La perdita recuperata è data da:



$$Q_{H,st,ls,rvd,m} = Q_{H,st,ls,m} \times 0,8 \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.43})$$

dove:

$Q_{H,st,ls,m}$ è dato dalla (C.24).

Essa è sottratta dalle perdite del sottosistema di generazione di cui l'impianto solare fa parte (formato dall'impianto solare medesimo e dal back up).

Caso 3 del punto C.2.10.2

La perdita recuperata è data da:

$$Q_{HW,st,ls,rvd,m} = Q_{HW,st,ls,m} \times 0,8 \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.44})$$

dove:

$Q_{HW,st,ls,m}$ è dato dalla (C.33).

Essa è sottratta dalle perdite del sottosistema di generazione di cui l'impianto solare fa parte (formato dall'impianto solare medesimo e dal back up).

Caso 4 del punto C.2.10.2

Si applica la (C.41), nella quale $Q_{W,sol,st,ls,m}$ è la perdita del solo accumulo destinato al solare termico, determinata secondo la metodologia della UNI/TS 11300-2:2008. La perdita recuperata così calcolata è sottratta al Q_h , come da UNI/TS 11300-2:2008.

C.2.11.3 Perdite di distribuzione tra l'impianto di riscaldamento ad energia solare ed il riscaldatore ausiliario

Le perdite recuperate $Q_{bu,dis,ls,rvd,m}$ si determinano moltiplicando le perdite calcolate con l'equazione C.38 o C.39 per il fattore correttivo $(1 - b_g)$ di cui al punto C.2.11.2 e per il fattore 0,8.

Recuperi termici dagli ausiliari elettrici

Si assume un recupero di energia termica pari a 0,8 del fabbisogno di energia elettrica:

$$Q_{sol,aux,l,rbl} = 0,8 \times Q_{sol,aux,m} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.45})$$

C.2.12 Riduzione del fabbisogno di energia

Con il metodo di calcolo mensile previsto dalla presente specifica tecnica si determina mensilmente la frazione solare ossia il rapporto:

$$f_{sol} = Q_{sol,out,m} / Q_{gn,out,m} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{C.46})$$

Il fabbisogno di energia termica utile rispetto alla produzione di energia termica utile con altri sistemi (generatori di calore a combustibili fossili, generazione elettrica, ecc.) si riduce quindi in proporzione al rapporto (C.46). Il fabbisogno di energia primaria dipende dal rendimento medio mensile del generatore considerato. Salvo il caso di generazione termica con resistenza elettrica il rendimento medio mensile di generazione dipende dal fattore di carico mensile del generatore. Nella valutazione della riduzione di fabbisogno di energia primaria si deve tenere conto del diverso fattore di carico nei due casi generazione senza apporto solare termico e generazione solare termico e integrazione con altro sottosistema (vedere punto 5.2).



Appendice D
(informativa)

Esempio di calcolo secondo il metodo B della quota di fabbisogno di energia termica soddisfatta da sistemi solari termici

Nella presente appendice è riportato un esempio di calcolo della quota di fabbisogno di energia termica soddisfatta da un sistema solare termico. I dati di irraggiamento sul piano dei collettori solari (prospetto D.2) sono stati calcolati secondo UNI/TR 11328-1 utilizzando i dati di irraggiamento su piano orizzontale della UNI 10349.

prospetto D.1 – Dati di input

Variabile / Dato	Esempio 1
Località	Roma
Orientamento dei pannelli (azimut)	Sud (0°)
Inclinazione dei pannelli (tilt)	45°
Ombreggiamenti	Assenza di ostruzioni
Tipologia di impianto	Impianto per la produzione di ACS con generatore ausiliario
Tipo di collettore	Collettore piano vetrato
Superficie di apertura [m ²]	2,40
η_0	0,78
a_1	3,5
a_2	0,015
IAM	0,94
Volume nominale di accumulo [l]	120



prospetto D.2 – Dati di irradiazione mensili nelle località sul piano dei moduli E_{pv} [kWh/m²]

Mese	E_{pv} [kWh/m ²]
Gennaio	95,63
Febbraio	106,92
Marzo	145,77
Aprile	160,27
Maggio	179,38
Giugno	176,71
Luglio	197,83
Agosto	193,69
Settembre	171,85
Ottobre	154,37
Novembre	104,85
Dicembre	85,35
TOTALE ANNUO	1 772,62

Si considerino i fabbisogni mensili applicati all'impianto del prospetto D.3. Tali valori sono stati calcolati secondo la UNI/TS 11300-2:2008 ipotizzando di dover soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria di un'abitazione di 120 m².

**prospetto D.3 – Fabbisogno applicato all'impianto [kWh]**

Mese	Fabbisogno [kWh]
Gennaio	157,90
Febbraio	142,62
Marzo	157,90
Aprile	152,81
Maggio	157,90
Giugno	152,81
Luglio	157,90
Agosto	157,90
Settembre	152,81
Ottobre	157,90
Novembre	152,81
Dicembre	157,90
TOTALE ANNUO	1 859,20

**prospetto D.4 – Fattori adimensionali X e Y**

Mese	X	Y
Gennaio	7,28	0,85
Febbraio	6,99	1,06
Marzo	6,27	1,30
Aprile	5,40	1,48
Maggio	4,40	1,60
Giugno	3,24	1,63
Luglio	2,50	1,76
Agosto	2,60	1,73
Settembre	3,37	1,58
Ottobre	4,69	1,38
Novembre	5,96	0,97
Dicembre	6,93	0,76



prospetto D.5 – Producibilità dell'impianto e quota di copertura del fabbisogno

Mese	Producibilità $Q_{sol,out}$ [kWh]	Copertura del fabbisogno [%]
Gennaio	53	33%
Febbraio	67	47%
Marzo	100	63%
Aprile	115	76%
Maggio	135	86%
Giugno	142	93%
Luglio	161	100%
Agosto	158	100%
Settembre	138	90%
Ottobre	117	74%
Novembre	71	46%
Dicembre	45	29%
TOTALE ANNUO	1 302	70%



Appendice E (informativa)

Esempi di calcolo dell'energia elettrica prodotta da impianti fotovoltaici

Nella presente appendice vengono riportati degli esempi di calcolo dell'energia elettrica da impianti fotovoltaici in tre località di riferimento: Milano, Roma e Palermo. I dati di irraggiamento sul piano dei pannelli fotovoltaici (prospetto E.2) sono stati calcolati secondo UNI/TR 11328-1 utilizzando i dati di irraggiamento su piano orizzontale della UNI 10349.

prospetto E.1 – Dati di input

Variabile/Dato	Esempio 1	Esempio 2	Esempio 3
Località	Milano	Roma	Palermo
Orientamento dei pannelli (azimut)	Sud (0°)	Sud (0°)	Sud (0°)
Inclinazione dei pannelli (tilt)	30°	40°	50°
Ombreggiamenti	Assenza di ostruzioni	Assenza di ostruzioni	Assenza di ostruzioni
Tipo di modulo fotovoltaico	Silicio monocristallino	Silicio multicristallino	Film sottile di silicio amorfo
Superficie di captazione [m ²]	7,20	14,40	21,60
Potenza di picco dell'impianto [kW] calcolata secondo equazione $W_{pv} = K_{pv} \times A_{pv}$ [kW] (32)	1,080	1,872	1,296
Grado di ventilazione dei moduli	Moduli non ventilati	Moduli moderatamente ventilati	Moduli molto ventilati



prospetto E.2 – Dati di irradiazione mensili nelle località sul piano dei moduli E_{pv} [kWh/m²]

Mese	Milano	Roma	Palermo
Gennaio	49,3	93,0	112,4
Febbraio	72,1	105,3	124,9
Marzo	123,1	145,9	160,4
Aprile	148,1	163,6	166,1
Maggio	168,7	185,9	176,4
Giugno	173,9	184,5	174,2
Luglio	198,1	206,1	186,0
Agosto	173,6	199,0	194,9
Settembre	137,1	173,1	182,0
Ottobre	98,0	152,4	162,2
Novembre	54,7	102,2	130,2
Dicembre	44,9	82,8	106,0
TOTALE ANNUO	1 441,5	1 793,8	1 875,7



prospetto E.3 – Risultati di calcolo: energia elettrica prodotta mensilmente dell’impianto fotovoltaico
 $E_{el,pv,out}$ [kWh]

Mese	Esempio 1	Esempio 2	Esempio 3
Gennaio	37,2	130,6	116,5
Febbraio	54,5	147,8	129,5
Marzo	93,1	204,9	166,3
Aprile	112,0	229,7	172,3
Maggio	127,5	261,0	182,9
Giugno	131,4	259,0	180,6
Luglio	149,7	289,3	192,8
Agosto	131,2	279,4	202,0
Settembre	103,7	243,0	188,7
Ottobre	74,1	213,9	168,2
Novembre	41,4	143,5	135,0
Dicembre	33,9	116,3	109,9
TOTALE ANNUO	1 089,8	2 518,4	1 944,7



Appendice F
(informativa)

Norme connesse agli impianti fotovoltaici

prospetto F.1 – Norme connesse agli impianti fotovoltaici

Norma	Titolo
CEI 82-25	Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa tensione.
CEI EN 50380	Fogli informativi e dati di targa per moduli fotovoltaici.
CEI EN 50461	Celle solari - Fogli informativi e dati di prodotto per celle solari al silicio cristallino.
CEI EN 60891	Caratteristiche I-V di dispositivi fotovoltaici in silicio cristallino. Procedure di riporto dei valori misurati in funzione di temperatura e irraggiamento.
CEI EN 60904-1	Dispositivi fotovoltaici - Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche corrente-tensione.
CEI EN 60904-2	Dispositivi fotovoltaici - Parte 2: Prescrizioni per i dispositivi solari di riferimento.
CEI EN 60904-3	Dispositivi fotovoltaici - Parte 3: Principi di misura per sistemi solari fotovoltaici (PV) per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento.
CEI EN 60904-5	Dispositivi fotovoltaici - Parte 5: Determinazione della temperatura equivalente di cella (ETC) dei dispositivi solari fotovoltaici (PV) attraverso il metodo della tensione a circuito aperto.
CEI EN 60904-7	Dispositivi fotovoltaici - Parte 7: Calcolo dell'errore di disadattamento spettrale nelle prove dei dispositivi fotovoltaici.
CEI EN 60904-8	Dispositivi fotovoltaici - Parte 8: Misura della risposta spettrale di un dispositivo fotovoltaico.
CEI EN 61173	Protezione contro le sovratensioni dei sistemi fotovoltaici (FV) per la produzione di energia – Guida.
CEI EN 61194	Parametri caratteristici dei sistemi fotovoltaici (FV) autonomi.
CEI EN 61215	Moduli fotovoltaici (FV) in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione del tipo.
CEI EN 61277	Sistemi fotovoltaici (FV) di uso terrestre per la generazione di energia elettrica. Generalità e guida.
CEI EN 61345	Prova all'UV dei moduli fotovoltaici (FV).
CEI EN 61646	Moduli fotovoltaici (FV) a film sottili per usi terrestri. Qualificazione del progetto e



Norma	Titolo
	approvazione di tipo.
CEI EN 61683	Sistemi fotovoltaici. Condizionatori di potenza. Procedura per misurare l'efficienza.
CEI EN 61701	Prova di corrosione da nebbia salina dei moduli fotovoltaici (FV).
CEI EN 61702	Valutazione dei sistemi di pompaggio fotovoltaici (FV) ad accoppiamento diretto.
CEI EN 61724	Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici. Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati.
CEI EN 61725	Espressione analitica dell'andamento giornaliero dell'irraggiamento solare.
CEI EN 61727	Sistemi fotovoltaici (FV). Caratteristiche dell'interfaccia di raccordo alla rete.
CEI EN 61730-1	Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) - Parte 1: Prescrizioni per la costruzione.
CEI EN 61730-2	Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) - Parte 2: Prescrizioni per le prove.
CEI EN 61829	Schiere di moduli fotovoltaici (FV) in silicio cristallino. Misura sul campo delle caratteristiche I-V.
CEI EN 62093	Componenti di sistemi fotovoltaici - moduli esclusi (BOS) - Qualifica di progetto in condizioni ambientali naturali.
CEI EN 62124	Sistemi fotovoltaici isolati dalla rete - Verifica di progetto.
IEC 60364-1	Low-voltage electrical installations - Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions
IEC 60364-7-712	Electrical installations of buildings - Part 7-712: Requirements for special installations or locations - Solar photovoltaic (PV) power supply systems
IEC 60904-9	Photovoltaic devices - Part 9: Solar simulator performance requirements.
IEC 60904-10	Photovoltaic devices - Part 10: Methods of linearity measurement.
IEC 61427	Secondary cells and batteries for photovoltaic energy systems (PVES) - General requirements and methods of test.
IEC/TS 61836	Solar photovoltaic energy systems - Terms, definitions and symbols.
IEC 62108 Appendice K	Concentrator photovoltaic (CPV) modules and assemblies - Design qualification and type approval.
IEC 62124	Photovoltaic (PV) stand alone systems - Design verification.



Appendice G (normativa)

Metodi per la determinazione dei Bin mensili

G.1 Generalità

Nella presente appendice sono riportati due metodi:

- 1) metodo basato su una distribuzione normale ai fini della suddivisione mensile in bin per il calcolo delle pompe di calore;
- 2) metodo basato sull'andamento della temperatura nel giorno tipo mensile utilizzato per il calcolo dei sistemi cogenerativi.

G.2 Calcolo in base a dati climatici e alle temperature di progetto secondo la UNI EN 12831

Ai fini delle valutazioni di tipo A1 e A2 si utilizza una distribuzione normale di temperatura nel mese, costruita in base ai seguenti dati climatici:

- temperatura esterna media mensile θ_{mese} secondo la UNI 10349;
- temperatura esterna di progetto θ_{progetto} invernale secondo la UNI EN 12831 (allegato nazionale A – normativo);
- somma dell'irradiazione giornaliera media mensile sul piano orizzontale diffusa H_{dh} e diretta H_{bh} (prospetto VIII), espressa in MJ/m²

$$H_{\text{mese}} = H_{\text{dh}} + H_{\text{bh}} \quad (\text{G.1})$$

Ai fini di valutazione di tipo A3 si possono utilizzare dati climatici provenienti da fonti diverse, esplicitandone l'origine.

Il valore medio della distribuzione normale si assume pari alla temperatura media mensile θ_{mese} .

Il valore dello scarto quadratico mensile di calcolo σ_{mese} è dato da:

$$\sigma_{\text{mese}} = 1,8 \text{ °C} + H_{\text{mese}} \times 0,16 \text{ °C} \times \text{m}^2/\text{MJ} + \Delta\sigma_{\text{mese}} \quad (\text{G.2})$$

Nota: la formula tiene conto della correlazione fra ampiezza dell'escursione giornaliera della temperatura e soleggiamento (correzione in base ad H_{mese}) nonché dei picchi di temperatura minima evidenziati dalle basse temperature di progetto.

La correzione dello scarto quadratico medio $\Delta\sigma_{\text{mese}}$ è data dalla seguente formula:

$$\Delta\sigma_{\text{mese}} = \Delta\sigma_{\text{max}} \times k_{\text{corr}, \sigma, \text{mese}} \quad (\text{G.3})$$

Il valore di $k_{\text{corr}, \sigma, \text{mese}}$ è fornito nel prospetto G.1.



prospetto G.1 – Fattori correttivi dello scarto quadratico medio

Mese	$k_{\text{corr}, \sigma, \text{mese}}$
dicembre	0,5
gennaio	1,0
febbraio	0,5
altri mesi	0,0

Il valore di $\Delta\sigma_{\text{max}}$ è dato da:

$$\Delta\sigma_{\text{max}} = -0,502 - 0,15825 \times (\theta_{\text{mese},01} - \theta_{\text{progetto}}) + 0,06375 \times (\theta_{\text{mese}} - \theta_{\text{progetto}})^2 - H_{\text{mese},01} \times 0,16 \text{ °C} \times \text{m}^2/\text{MJ}$$

Nota I valori $\theta_{\text{mese},01}$ e $H_{\text{mese},01}$ sono quelli relativi al mese di gennaio, assunto come mese più freddo dell'anno.

Il fattore di densità $K_{\text{bin}, \text{mese}}$ del bin è dato dalla formula:

$$K_{\text{bin}, \text{mese}} = \frac{1}{\sigma_{\text{mese}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\theta_{\text{bin}} - \theta_{\text{mese}}}{\sigma_{\text{mese}}} \right)^2} \times \Delta\theta_{\text{bin}} \quad (\text{G.4})$$

la durata teorica di ciascun bin $t_{\text{bin}, \text{mese}, \text{th}}$ è data da:

$$t_{\text{bin}, \text{mese}, \text{th}} = K_{\text{bin}, \text{mese}} \times t_{\text{mese}} \quad (\text{G.5})$$

Poiché la distribuzione normale teorica si estende all'infinito, ai fini pratici essa viene troncata azzerando le durate dei bin inferiori al 1,5% della durata del mese e si ridistribuiscono le ore rimaste sulla durata del mese con la seguente procedura:

Nota $1,5\% \times 744 \text{ h} = 11,1 \text{ h}$

- Si calcola $t_{\text{min}, \text{mese}}$:

$$t_{\text{min}, \text{mese}} = t_{\text{mese}} \times 0,015 \quad (\text{G.6})$$

- Si azzerano tutti i $t_{\text{bin}, \text{mese}, \text{th}}$ che risultano minori di $t_{\text{min}, \text{mese}}$:

- Si calcolano i valori definitivi di $t_{\text{bin}, \text{mese}}$ con la relazione

$$t_{\text{bin}, \text{mese}} = t_{\text{mese}} \times \frac{t_{\text{bin}, \text{mese}, \text{th}}}{\sum t_{\text{bin}, \text{mese}, \text{th}}} \quad (\text{G.7})$$

Nota Il valore minimo del bin significativo e la formula per determinare σ sono interconnessi. Se si usano valori troppo alti del bin significativo (maggiori di 1,5%) si ottengono distribuzioni troppo piatte con elevate differenze fra temperatura media mensile minima e temperatura di progetto.



Aria calda interna da recuperi

Si considerano due casi:

- (a) temperatura dell'aria di recupero costante nel mese, indipendentemente dalla temperatura dell'aria esterna;
- (b) temperatura dell'aria di recupero dipendente dalle condizioni climatiche esterne.

Nel primo caso si procede con unico bin mensile. Rientra in questo caso il calore recuperato da smaltimento di aria di ventilazione (per esempio per produzione di acqua calda sanitaria).

Il secondo caso comprende il caso di calore ottenuto da energia solare nel quale può essere applicata la suddivisione mensile nei bin previsti per l'aria esterna.

Nel caso il calore di recupero consista in aria calda essa può essere miscelata con l'aria esterna. Si calcola in questo caso la temperatura risultante per ciascuno dei bin del prospetto 1 e si effettua il calcolo come nel caso di sola aria esterna.

G.3 Determinazione profili giornalieri di temperatura dell'aria esterna e dei profili di carico per acqua calda sanitaria

G.3.1 Premessa

Il metodo è basato sull'andamento della temperatura esterna nel giorno tipo mensile ottenuto in base ai dati della UNI 10349 sulla cui base si determina il profilo giornaliero di carico per riscaldamento.

Il metodo può essere utilizzato:

- per determinare il profilo giornaliero di temperatura nel giorno tipo mensile;
- per determinare i bin mensili di temperatura sulla base delle temperature nel giorno tipo del mese.

Il profilo giornaliero di carico per acqua calda sanitaria è determinato in base ai dati del prospetto 2.

G.3.2 Determinazione del profilo di temperatura nel giorno tipo mensile

La temperatura dell'aria esterna nell'ora h del mese considerato è data da:

$$\theta_{h,mese} = \theta_{avg,mese} + p_{h,mese} \times \Delta\theta_{mese} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (\text{G.8})$$

dove:

$\theta_{h,mese}$ temperatura dell'aria esterna nell'ora h del mese considerato [$^{\circ}\text{C}$];

$\theta_{avg,mese}$ temperatura media giornaliera come da prospetti 3, 4 e 5 [$^{\circ}\text{C}$];

$\Delta\theta_{mese}$ escursione giornaliera come da prospetto 3, 4 e 5 [$^{\circ}\text{C}$];

$p_{h,mese}$ coefficiente riportato nel prospetto 6 [$^{\circ}\text{C}$].

I valori del coefficiente $p_{h,mese}$, riportati nel prospetto, sono differenziati in funzione di due zone climatiche A e B in cui sono raggruppate le diverse regioni italiane, secondo il seguente prospetto 4.2:



prospetto G.2 – Raggruppamento delle regioni italiane in due zone climatiche

Zona A	Zona B
Valle D'Aosta, Piemonte, Liguria, Lombardia, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Emilia-Romagna, Toscana, Marche, Sardegna	Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria, Sicilia

Per la zona B il coefficiente $p_{h,j}^B$ relativo all'ora h e al mese j si ricava dal prospetto 6 essendo:

$$p_{h,j}^B = p_{h,j+1}^A$$

G.3.3 Determinazione dei bin mensili

Ottenuto l'andamento della temperatura nelle 24 h del giorno tipo mensile si determinano:

- i bin di temperatura nel giorno tipo del mese;
- i bin di temperatura del mese moltiplicando le ore di ciascun bin per i giorni del mese.

G.3.4 Determinazione del profilo giornaliero di carico per acqua calda sanitaria

La percentuale di carico $p_{w,h}$ nell'ora h rispetto al fabbisogno giornaliero nel caso di edifici residenziali è data da:

$$p_{w,h} = (\Phi_{W,d,in,h} / Q_{W,d,in,giorno}) \times 100 \quad [\%] \quad (G.9)$$

dove:

$\Phi_{W,d,in,h}$ è il carico medio orario [kW];

$Q_{W,d,in,giorno}$ è il fabbisogno medio giornaliero determinato secondo la UNI/TS 11300-2:2008 [kWh].

Il valore di $p_{w,h}$ si ottiene dal prospetto G.3



prospetto G.3 – Profilo andamento orario fabbisogno acqua calda sanitaria

h	$\rho_{W,h} = 100 \times (\Phi_{W,d,in,h} / Q_{W,d,in,giorno})$
1	2,5%
2	2,8%
3	2,8%
4	0,0%
5	0,0%
6	0,0%
7	13,9%
8	13,9%
9	13,9%
10	2,8%
11	2,8%
12	2,8%
13	2,8%
14	0,7%
15	0,7%
16	0,7%
17	0,7%
18	13,9%
19	13,9%
20	2,8%
21	2,8%
22	2,8%
23	0,0%
24	0,0%
	100,0%



prospetto G.4 – Valori medi mensili della temperatura e dell’escursione termica giornaliera

Località	Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre	
	(°C)		(°C)		(°C)		(°C)		(°C)		(°C)		(°C)		(°C)		(°C)		(°C)		(°C)		(°C)	
	θ_{med}	$\Delta\theta$	θ_{me} d	$\Delta\theta$	θ_{med}	$\Delta\theta$	θ_{med}	$\Delta\theta$																
Agrigento	10,4	5,0	10,8	5,5	12,7	6,4	15,6	7,2	19,4	8,1	24,1	8,6	26,9	8,8	26,5	8,5	24,0	7,4	19,9	6,4	15,9	5,5	12,2	5,0
Alessandria	0,0	5,6	2,8	7,3	8,1	9,2	13,1	9,9	17,3	10,1	22,0	10,7	24,7	11,2	23,6	10,9	19,9	9,7	13,1	7,7	6,9	5,4	1,9	4,8
Ancona	6,3	4,3	7,1	4,5	9,9	4,7	13,4	5,0	17,0	5,2	21,8	5,5	24,4	5,7	24,1	5,4	21,3	5,0	16,5	4,6	12,1	4,3	7,8	4,1
Aosta	-0,3	8,1	2,6	9,0	6,7	10,1	11,0	10,5	14,7	11,6	18,7	11,9	20,5	12,1	19,4	11,5	15,9	10,0	10,3	8,9	4,8	7,5	0,8	7,4
Arezzo	5,1	7,0	5,9	8,0	9,2	9,2	12,6	10,0	16,4	11,1	20,9	12,2	24,0	13,5	23,4	13,3	20,3	11,2	15,0	9,6	10,2	7,7	6,1	6,7
Ascoli Piceno	5,5	8,7	6,6	9,8	9,5	10,8	13,3	11,3	17,2	11,7	21,7	12,6	24,4	13,3	24,3	13,6	21,1	12,5	15,8	10,7	10,9	9,3	7,0	8,5
Asti	-0,4	6,6	2,7	8,6	7,9	10,1	13,0	11,4	17,0	11,2	21,6	11,7	24,2	11,7	22,9	11,2	18,9	10,2	12,7	8,5	6,1	6,5	1,3	5,8
Avellino	5,5	6,8	6,5	7,8	8,8	9,0	12,4	10,1	16,0	11,1	20,3	12,2	23,1	12,9	22,6	12,4	19,6	10,7	14,8	9,3	10,4	7,6	6,8	6,9
Bari	8,6	5,8	9,2	6,4	11,1	6,6	14,2	6,9	18,0	7,0	22,3	7,2	24,7	7,0	24,5	7,0	22,0	6,8	17,9	6,5	14,0	6,2	10,2	5,9
Belluno	0,1	7,5	2,3	8,7	6,8	9,3	11,2	9,6	14,9	10,0	18,9	10,4	21,2	11,2	20,8	11,0	17,7	10,2	12,4	9,1	6,5	7,4	1,7	6,6
Benevento	6,8	6,9	7,7	7,7	10,3	8,7	13,7	10,1	17,5	11,3	22,1	12,6	24,8	13,5	24,3	12,9	21,4	11,3	16,5	9,6	12,1	7,5	8,0	6,6
Bergamo	3,1	5,0	4,9	5,6	8,9	6,1	13,3	6,9	17,0	7,2	21,3	7,8	23,7	8,3	23,2	8,0	19,9	7,3	14,2	5,6	8,6	4,5	4,5	4,7
Bologna	2,1	4,5	4,6	5,5	9,4	8,9	14,2	7,4	18,2	8,1	22,9	8,8	25,4	9,2	24,9	8,7	21,2	7,6	14,9	6,1	8,7	4,6	4,0	4,2



Bolzano	1,2	8,1	4,2	9,6	9,0	10,7	13,4	11,1	16,9	11,6	21,0	12,3	22,7	12,7	22,0	12,4	18,8	11,5	12,9	10,8	6,7	8,5	2,2	1,7
Brescia	1,5	6,5	4,2	8,2	9,3	9,3	13,5	9,8	17,7	10,4	22,0	11,1	24,4	11,3	23,7	11,0	19,9	10,0	14,0	8,5	7,8	7,1	3,5	6,2
Brindisi	9,3	6,4	9,6	6,8	11,4	7,2	14,2	8,2	18,0	8,5	22,0	8,6	24,5	8,4	24,5	8,3	22,1	8,1	18,3	7,2	14,4	6,8	10,9	6,3
Cagliari	10,3	13,3	10,8	7,6	12,8	8,3	15,1	8,9	18,4	9,8	22,9	10,3	25,5	10,7	25,5	10,0	23,3	9,1	19,4	8,2	15,5	7,7	11,7	7,2
Caltanissetta	7,2	6,6	7,8	7,4	9,9	8,7	13,1	10,2	17,3	11,6	22,5	12,7	25,7	13,0	25,2	12,3	22,1	10,9	17,3	9,0	12,8	7,4	8,9	6,5
Campobasso	3,7	5,5	4,8	6,8	7,3	7,9	11,1	9,1	14,8	9,7	19,6	10,9	22,5	11,6	22,2	11,7	18,9	10,0	13,5	7,9	9,0	6,2	5,0	5,4
Caserta	8,7	6,0	9,4	6,8	12,0	7,7	15,3	8,5	19,1	9,5	23,5	10,5	26,2	10,9	26,1	10,7	23,0	9,5	18,2	7,9	13,9	6,7	10,3	6,1
Catania	10,7	7,3	11,2	7,9	12,9	8,1	15,5	8,7	19,1	9,1	23,5	9,4	26,5	9,6	26,5	9,2	24,1	8,7	19,9	7,9	15,9	7,4	12,3	7,1
Catanzaro	8,3	6,2	8,7	6,5	10,4	6,9	13,4	7,4	17,0	7,8	21,7	8,4	24,4	8,6	24,8	8,9	22,3	8,7	17,9	7,5	13,7	6,2	10,1	6,1
Chieti	5,8	5,2	6,8	6,4	9,6	6,9	13,5	7,7	17,2	8,1	22,0	8,8	24,7	9,2	24,3	9,1	21,2	8,2	15,9	6,8	11,3	5,7	7,2	5,2
Como	2,9	6,4	5,0	7,4	8,8	8,4	12,7	9,2	16,7	9,4	21,1	10,2	23,6	10,7	23,1	10,0	19,6	9,3	13,7	7,9	8,4	6,4	4,4	6,3
Cosenza	8,1	7,7	8,8	8,4	11,3	9,5	14,4	10,9	18,1	11,9	23,1	13,5	26,0	14,1	25,8	14,2	22,7	13,0	17,8	10,3	13,4	8,7	9,4	7,5
Cremona	0,7	5,8	3,3	7,2	8,4	8,7	13,3	9,7	17,4	10,1	21,9	10,8	24,3	10,9	23,4	10,3	19,7	9,4	13,4	8,0	7,2	6,3	2,5	5,4
Crotone	9,5	6,7	9,8	7,3	11,5	7,9	14,7	8,9	18,4	9,8	22,9	10,8	26,2	10,8	26,0	10,5	23,5	9,8	19,3	8,4	15,1	7,1	11,2	6,6
Cuneo	1,1	7,1	2,9	7,7	6,9	8,3	11,3	8,7	14,8	9,2	19,4	9,7	21,9	10,0	21,0	9,3	17,7	8,4	11,7	7,7	6,2	6,7	2,5	6,7
Enna	4,5	4,7	5,1	5,3	7,1	6,1	10,7	7,2	14,9	8,2	20,6	9,3	23,9	9,6	23,2	9,2	19,9	8,0	14,5	6,1	9,8	5,1	6,4	4,5
Ferrara	1,4	5,1	3,3	6,7	7,8	8,0	12,8	8,6	17,3	9,2	21,6	9,9	23,9	10,3	23,5	9,9	20,1	8,7	14,0	7,1	8,2	5,4	3,2	4,6
Firenze	5,3	6,5	6,5	7,5	9,9	8,7	13,8	9,8	17,8	10,7	22,2	11,6	25,0	12,3	24,3	11,6	20,9	10,0	15,3	8,3	10,2	6,6	6,3	6,0



Foggia	6,4	7,4	7,3	8,4	10,0	9,5	13,8	10,7	17,9	11,6	23,2	12,2	26,0	12,4	25,5	12,2	22,1	10,9	16,9	9,2	12,2	8,0	7,9	7,5
Forlì	3,0	4,6	4,6	5,9	9,0	7,1	13,7	7,7	17,5	8,3	22,6	8,9	25,3	9,1	24,8	8,8	21,1	8,0	15,1	6,8	9,3	5,2	4,4	4,6
Frosinone	5,8	9,5	6,2	10,1	8,0	10,8	11,0	11,7	15,2	12,9	18,5	13,4	21,5	14,4	20,9	14,1	18,8	12,9	13,4	12,0	9,2	10,3	5,0	9,6
Genova	7,9	5,1	8,9	5,6	11,6	5,7	17,8	5,7	17,8	5,7	21,9	5,8	24,5	5,9	24,6	6,0	22,3	5,9	17,1	6,0	12,9	5,0	9,3	4,9
Gorizia	4,7	7,2	5,6	8,1	8,2	9,2	11,9	9,7	16,7	11,4	19,9	11,3	22,0	12,0	22,2	12,1	18,6	11,4	13,2	10,4	9,2	7,4	4,7	7,0
Grosseto	6,8	7,7	8,1	9,6	10,3	10,5	13,2	11,4	17,1	12,0	21,2	12,9	24,1	13,8	23,9	13,4	21,3	12,3	16,4	10,6	11,7	9,3	8,1	8,6
Imperia	8,6	6,9	9,4	7,2	11,6	7,3	14,7	7,7	17,9	7,9	21,7	8,4	24,5	8,5	24,1	8,2	21,8	8,0	17,4	7,5	12,7	6,8	9,5	7,0
Isernia	5,5	6,8	5,7	7,5	8,6	8,2	11,2	10,3	15,5	10,1	20,1	11,5	23,1	11,8	22,8	12,0	19,7	10,2	14,7	8,2	10,3	6,9	6,9	6,3
L'aquila	2,0	6,8	3,6	8,1	7,1	9,3	11,4	10,1	15,0	11,1	19,1	12,0	22,0	13,2	21,8	13,3	18,6	11,7	13,1	9,7	8,2	7,5	3,8	6,3
La Spezia	6,7	5,1	7,3	5,4	10,1	6,0	13,4	6,0	16,7	6,5	20,9	6,7	23,8	7,1	23,7	6,9	21,2	6,6	16,4	5,8	11,9	5,1	8,3	5,0
Latina	8,3	8,6	9,0	8,7	10,9	9,5	13,5	9,8	16,9	10,1	20,9	10,7	23,7	11,2	23,8	11,4	21,5	10,5	17,3	10,0	12,9	8,9	9,5	8,4
Lecce	9,0	6,9	9,3	7,4	11,4	8,1	14,7	9,4	18,9	10,0	23,4	10,8	26,1	10,7	25,9	10,4	23,0	9,6	18,5	8,0	14,3	7,0	10,7	6,6
Lecco	3,9	6,4	5,7	7,4	9,6	8,4	13,3	9,2	16,0	9,4	20,1	10,2	22,6	10,7	22,1	10,0	19,2	9,3	14,3	7,9	9,2	6,4	5,3	6,3
Livorno	7,5	6,1	8,2	6,7	11,1	7,0	13,9	7,1	17,3	7,5	21,8	7,7	24,4	7,9	24,1	7,8	21,5	7,7	17,1	7,0	12,7	6,2	9,0	5,8
Lodi	0,9	5,5	3,3	7,9	8,6	9,6	13,5	10,8	17,8	11,4	22,5	12,7	24,5	12,8	23,4	12,0	19,6	9,8	13,4	8,0	7,3	6,1	2,5	5,1
Lucca	6,1	7,0	7,2	7,9	10,1	8,9	13,3	9,8	17,1	10,5	21,2	11,0	23,8	11,6	23,6	11,3	20,9	10,5	15,8	8,7	10,9	7,3	7,3	7,8
Macerata	3,8	5,2	5,3	5,8	8,3	6,6	12,4	7,3	16,3	7,9	20,7	8,3	23,5	8,8	23,2	8,4	19,9	7,6	14,4	6,3	9,5	5,4	5,7	5,1
Mantova	1,0	5,5	3,3	6,9	8,4	8,3	13,3	9,1	17,4	9,6	22,0	10,2	24,3	10,7	23,6	10,1	20,0	8,8	14,0	7,3	8,0	5,6	2,9	5,0



Massa Carrara	6,8	7,0	7,4	7,3	10,3	8,2	13,2	8,8	16,9	9,2	21,2	9,9	23,7	10,2	23,3	10,3	20,6	10,3	15,9	9,2	11,3	7,9	7,9	7,2
Matera	7,7	7,0	8,4	7,9	10,5	8,5	14,2	10,2	10,5	11,4	23,6	12,8	26,7	13,7	26,2	13,5	22,9	11,9	18,0	9,3	13,3	7,7	9,3	6,9
Messina	11,7	5,0	12,0	5,4	13,2	5,9	15,7	6,4	19,2	7,2	23,5	7,6	26,4	7,6	26,5	7,4	24,2	6,7	20,3	6,0	16,6	5,3	13,3	5,0
Milano	1,7	4,8	4,2	5,9	9,2	7,3	14,0	8,7	17,9	9,1	22,5	9,8	25,1	10,0	24,1	9,2	20,4	8,1	14,0	6,4	7,9	4,7	3,1	4,5
Modena	1,4	5,2	3,5	6,6	8,6	8,0	13,3	9,2	17,2	9,5	21,8	10,0	24,3	10,4	23,8	9,7	20,1	8,7	14,0	7,1	8,1	5,5	3,1	4,8
Napoli	10,5	4,1	10,6	5,8	13,2	6,5	16,0	7,1	19,5	7,9	24,1	8,3	26,7	8,6	26,5	8,4	23,8	7,5	19,6	6,4	15,5	5,5	12,1	4,9
Novara	0,9	5,9	3,3	7,3	8,4	8,7	13,1	10,0	17,4	10,5	21,8	11,5	24,3	11,7	23,3	11,1	19,2	9,6	12,9	7,5	7,1	6,2	2,4	5,5
Nuoro	6,2	6,8	6,7	7,4	9,5	8,6	12,4	9,7	15,7	11,7	21,1	12,8	24,3	14,2	24,1	13,2	20,9	11,9	15,7	9,0	11,2	7,3	7,6	6,3
Oristano	9,6	7,3	10,2	7,6	12,3	8,3	14,5	8,9	17,4	9,8	21,4	10,3	23,5	10,7	24,1	10,0	22,6	9,1	18,7	8,2	14,4	7,7	10,8	7,4
Padova	1,9	6,5	4,0	7,8	8,4	8,8	13,0	9,4	17,1	10,0	21,3	10,5	23,6	10,8	23,1	10,8	19,7	10,0	13,8	8,8	8,2	7,0	3,6	6,2
Palermo	11,1	8,6	11,6	8,9	13,1	9,6	15,5	10,0	18,8	10,5	22,7	10,6	25,5	11,1	25,4	10,9	23,6	10,4	19,8	9,8	16,0	9,3	12,6	8,6
Parma	0,9	5,6	3,5	7,1	8,9	8,7	13,7	9,7	17,6	10,3	22,2	11,0	24,7	11,5	24,0	11,1	20,2	9,8	14,1	7,7	8,0	5,5	2,8	4,9
Pavia	0,5	6,0	3,2	8,3	8,4	10,3	12,9	11,6	17,1	12,2	21,3	12,5	23,5	12,9	22,7	12,5	19,3	11,5	13,3	9,1	7,1	6,4	2,3	5,3
Perugia	4,0	5,4	5,0	6,5	8,1	7,6	11,5	8,6	15,4	9,6	20,1	10,2	23,1	10,9	22,7	10,6	19,6	9,0	14,1	7,3	9,4	5,8	5,5	5,2
Pesaro	3,6	5,9	4,7	6,7	8,4	7,8	12,3	8,5	16,2	9,0	20,6	9,3	23,2	9,7	22,7	9,3	19,7	8,5	14,7	7,5	9,9	6,2	5,4	5,9
Pescara	7,2	6,8	8,4	8,2	10,9	8,8	14,2	9,7	18,5	10,0	22,7	10,6	25,4	11,2	25,0	11,3	22,0	10,6	17,4	9,0	12,5	7,5	8,7	7,2
Piacenza	0,1	6,0	2,4	7,7	7,7	9,2	12,2	10,1	16,3	10,4	20,7	10,9	23,2	11,2	22,3	10,6	18,9	9,7	12,8	7,8	6,9	5,9	2,0	5,3
Pisa	6,7	8,3	7,7	9,4	10,6	9,9	13,6	10,6	11,2	10,9	21,1	11,3	23,5	11,9	23,5	12,0	20,9	11,3	16,3	10,3	11,7	9,0	7,8	8,2



Pistoia	5,3	7,7	6,5	8,5	9,9	9,6	13,4	10,8	17,2	11,7	21,3	12,7	24,1	13,7	23,6	13,5	20,9	12,0	15,3	9,9	10,4	8,3	6,3	7,5
Pordenone	2,3	7,8	4,4	8,7	8,1	9,6	12,1	10,3	15,7	11,2	18,4	11,5	21,5	11,6	21,2	11,2	18,3	10,5	12,9	9,9	7,4	8,2	3,8	7,9
Potenza	3,6	5,5	4,3	6,1	6,8	7,3	10,6	8,2	14,7	9,2	19,1	10,0	21,9	10,7	21,9	10,6	18,9	9,5	13,7	7,7	9,3	6,4	5,2	5,5
Prato	5,6	7,1	6,9	7,9	10,4	9,2	14,3	10,3	18,0	10,7	22,3	11,8	25,0	12,4	24,7	12,5	21,6	10,9	16,1	8,7	10,9	7,5	6,8	6,8
Ragusa	8,6	7,5	9,2	7,9	11,2	9,0	14,1	9,9	18,5	11,1	23,6	1,9	26,6	12,1	26,4	11,9	23,2	10,8	18,4	10,0	14,3	7,9	10,1	7,3
Ravenna	1,9	7,2	3,4	8,6	8,1	9,9	12,4	10,9	16,4	11,4	20,9	12,1	23,4	12,7	22,9	12,7	19,7	11,1	14,3	9,4	8,9	7,7	3,8	6,5
Reggio Calabria	11,1	5,9	11,5	6,2	12,8	6,5	15,3	7,0	18,7	7,6	23,0	8,0	25,7	7,7	26,1	7,6	23,8	7,5	20,0	7,0	16,5	6,5	12,7	6,0
Reggio Emilia	1,1	6,0	3,2	7,1	8,2	8,6	12,7	9,3	16,9	10,1	21,2	10,6	23,8	11,2	22,9	10,7	19,6	9,6	13,3	7,6	7,2	5,7	2,8	5,2
Rieti	3,7	8,9	4,9	10,1	8,1	11,2	11,6	12,3	15,2	13,3	18,8	14,2	21,8	15,6	21,7	15,5	18,9	13,6	13,5	11,5	8,7	9,9	5,1	8,7
Rimini	3,1	6,9	4,9	7,5	8,5	8,6	12,4	9,4	16,5	10,1	20,8	10,3	23,4	10,4	22,7	10,1	19,9	9,5	15,0	8,4	9,6	7,4	5,3	6,9
Roma	7,6	7,1	8,7	7,8	11,4	8,5	14,7	9,1	18,5	10,1	22,9	10,7	25,7	11,3	25,3	11,0	22,4	10,0	17,4	8,6	12,6	7,4	8,9	6,9
Rovigo	1,3	5,7	3,6	7,3	8,5	8,8	13,4	9,4	17,6	10,4	22,0	11,2	24,5	11,8	23,8	11,4	20,1	10,1	14,0	8,2	8,1	6,0	3,1	5,2
Salerno	10,4	6,3	11,3	6,8	13,5	8,1	16,5	8,4	20,1	9,3	23,9	9,8	26,5	10,5	26,6	10,5	24,1	9,5	19,9	8,2	15,7	7,1	12,2	6,0
Siena	4,8	6,0	5,7	6,8	9,1	7,7	12,4	8,7	16,3	9,9	21,0	10,5	24,0	11,3	23,7	10,8	20,2	9,3	14,6	8,0	9,8	5,9	6,0	5,5
Sondrio	0,5	9,6	3,3	10,5	8,2	11,2	12,6	11,5	16,0	12,1	20,0	11,7	22,3	12,6	21,4	11,8	18,1	11,2	12,4	10,6	6,6	9,5	1,7	8,7
Siracusa	11,3	7,5	11,5	7,8	13,1	8,4	15,4	9,0	18,7	9,8	23,0	10,4	26,2	10,6	26,4	10,0	23,9	8,9	20,1	8,0	16,4	7,5	12,9	7,3
Sassari	8,7	6,2	9,1	6,7	11,3	7,5	14,0	8,2	16,8	8,9	21,4	9,5	24,0	10,0	24,5	9,7	22,1	8,8	17,5	7,9	13,5	6,7	9,9	6,0
Savona	6,6	5,7	8,5	6,4	11,4	6,6	14,6	7,1	18,1	7,1	22,2	7,7	24,9	7,9	24,6	7,8	21,9	7,1	16,9	6,6	11,9	6,1	8,2	5,8



Taranto	9,2	6,3	9,7	6,6	11,3	7,2	14,5	7,6	18,5	8,4	23,0	8,7	25,9	9,3	25,8	8,9	23,0	8,5	18,7	7,4	14,4	6,9	10,9	6,4
Teramo	5,1	5,1	5,9	5,9	9,0	6,5	12,8	7,2	16,8	8,2	21,4	8,6	24,0	8,8	23,6	8,5	20,4	7,2	15,1	6,0	10,4	5,5	6,6	4,9
Trento	1,5	6,9	4,5	7,9	9,0	9,2	13,7	10,2	17,2	10,5	21,2	11,1	23,5	11,6	22,7	10,9	19,5	9,9	13,6	8,7	7,4	6,9	2,9	6,7
Torino	0,4	5,6	3,2	6,8	8,2	7,7	12,7	8,3	16,7	8,8	21,1	9,2	23,3	9,4	22,6	8,9	18,8	8,3	12,6	6,9	6,8	5,5	2,0	5,1
Trapani	11,0	6,5	11,5	6,2	13,2	6,5	15,8	8,0	19,2	8,0	23,3	8,5	25,8	8,3	26,2	7,7	24,0	7,2	19,9	6,2	15,8	5,9	12,4	5,9
Terni	6,7	7,8	7,6	9,1	10,7	10,5	13,6	11,6	17,6	12,7	22,3	13,2	24,7	14,4	24,3	13,9	21,1	12,4	16,4	11,0	11,3	8,7	6,6	7,3
Trieste	4,9	4,0	6,2	4,7	9,4	5,8	13,5	6,8	17,7	7,7	21,9	7,7	24,2	8,2	24,0	7,9	20,7	6,9	15,5	5,5	10,6	4,5	6,9	4,1
Treviso	2,8	5,9	4,4	6,8	8,4	7,4	13,2	8,1	17,1	9,3	21,6	9,5	23,8	9,6	23,2	9,3	19,8	8,7	14,0	7,8	8,2	5,8	4,3	5,6
Udine	3,5	5,1	5,0	6,8	8,6	7,9	13,3	9,0	17,3	9,7	21,1	10,1	23,3	10,8	23,1	10,6	19,8	9,4	14,2	7,9	8,7	5,9	4,8	5,0
Urbino	3,6	4,9	4,7	5,2	8,4	6,1	12,3	6,9	16,2	7,5	20,6	8,2	23,2	8,3	22,7	7,9	19,7	7,0	14,7	5,9	9,9	5,1	5,4	4,9
Varese	1,2	6,4	1,9	7,4	6,0	8,4	10,4	9,2	14,0	9,4	17,7	10,2	20,5	10,7	19,6	10,0	16,4	9,3	11,2	7,9	5,3	6,4	1,9	6,3
Venezia	3,3	5,5	4,8	5,9	8,6	5,9	13,2	6,4	17,3	6,6	21,3	6,8	23,6	7,5	23,4	7,4	20,4	7,2	14,9	6,9	9,5	5,8	5,0	5,3
Verbania	2,9	6,3	4,6	7,5	8,5	8,5	12,6	9,2	16,6	9,2	20,8	9,8	23,3	10,2	22,6	9,5	19,3	8,8	13,5	7,8	8,1	6,3	4,2	6,1
Vercelli	0,2	8,3	2,9	10,3	7,7	11,6	12,5	12,2	17,2	10,6	21,7	11,0	23,8	11,6	22,8	11,8	18,7	12,1	12,7	10,5	6,5	8,0	1,8	7,2
Verona	2,4	6,2	4,9	7,1	9,3	7,7	13,7	8,8	17,4	9,5	21,7	9,8	23,8	10,1	23,6	9,7	20,2	8,7	14,7	7,5	8,5	5,9	4,3	6,6
Vicenza	2,4	8,1	4,2	9,1	8,5	9,9	12,9	10,7	17,0	11,4	21,3	11,3	23,6	11,8	23,0	11,5	19,6	11,2	13,9	10,6	8,5	8,6	4,1	7,8
Viterbo	5,7	6,2	6,6	7,2	9,4	8,4	12,7	9,7	16,9	10,6	21,8	11,7	24,8	12,1	24,0	12,0	20,7	10,5	15,9	8,6	11,3	6,6	7,5	6,1



Appendice H

(normativa)

Sistemi cogenerativi: calcolo della frazione cogenerata

H.1 Calcolo della frazione cogenerata

La frazione di calore cogenerata per ogni intervallo di calcolo è indicata nel prospetto H.1 in funzione del parametro $\beta_{H,W}$ così definito:

$$\beta_{H,W} = \Phi_{CG,ter,out,nom} / (Q_{d,in,mese} / 24 G_{mese}) \quad [-] \quad (1)$$

dove $\Phi_{CG,ter,out,nom}$ è la potenza termica nominale complessiva della sezione cogenerativa.

Per sottosistemi senza accumulo termico inerziale si devono utilizzare le colonne 1, 2 o 3 del prospetto H.1, rispettivamente per sezioni cogenerative costituite da uno, due o tre unità in cascata con uguali caratteristiche prestazionali.

Qualora sia invece presente un accumulo inerziale congruo secondo le condizioni definite al punto 11.3.3 si deve utilizzare la colonna 4.

Infine, nel caso sia presente un sistema di accumulo non congruo, si determina un contributo frazionale fittizio partendo dai contributi presenti nelle colonne 1 (oppure 2 o 3 per sottosistemi multipli) e 4 mediante la seguente relazione:

$$X_{CG} = (1 - \alpha) \times X_{CG,\alpha=0} + \alpha \times X_{CG,\alpha \geq 1} \quad [-] \quad (2)$$



prospetto H.1 - Contributi frazionali

β	X_{CG}			
	$\alpha = 0$			$\alpha \geq 1$
	1	2	3	4
<0,600	$\beta_{H,W}$	$\beta_{H,W}$	$\beta_{H,W}$	$\beta_{H,W}$
0,600 ÷ 0,625	0,600	0,600	$\beta_{H,W}$	$\beta_{H,W}$
0,626 ÷ 0,650	0,605	0,609	$\beta_{H,W}$	$\beta_{H,W}$
0,651 ÷ 0,700	0,610	0,615	$\beta_{H,W}$	$\beta_{H,W}$
0,701 ÷ 0,750	0,615	0,620	$\beta_{H,W}$	$\beta_{H,W}$
0,751 ÷ 0,800	0,620	0,625	$\beta_{H,W}$	$\beta_{H,W}$
0,801 ÷ 0,900	0,609	0,630	$\beta_{H,W}$	$\beta_{H,W}$
0,901 ÷ 0,950	0,597	0,640	$\beta_{H,W}$	$\beta_{H,W}$
0,951 ÷ 1,000	0,480	0,650	$\beta_{H,W}$	$\beta_{H,W}$
1,001 ÷ 1,250	0,285	0,700	0,744	1,000
1,251 ÷ 1,500	0,242	0,710	0,751	1,000
1,501 ÷ 1,750	0,198	0,720	0,757	1,000
1,751 ÷ 2,000	0,165	0,600	0,764	1,000
2,001 ÷ 2,500	0,090	0,500	0,770	1,000
2,501 ÷ 3,000	-	0,400	0,731	1,000
3,001 ÷ 4,000	-	0,300	0,693	1,000
4,001 ÷ 5,000	-	0,263	0,654	1,000
5,001 ÷ 6,000	-	0,227	0,616	1,000
6,001 ÷ 7,000	-	0,190	0,577	1,000
7,001 ÷ 8,000	-	-	0,539	1,000
8,001 ÷ 9,000	-	-	0,500	1,000
>9,000	-	-	-	-



Appendice I (informativa)

Sistemi cogenerativi: curve prestazionali normalizzate

I.1 Generalità

Nei prospetti I.1 e I.2 sono riportate le curve prestazionali standard per unità cogenerative di potenza elettrica nominale minore di 100 kW per le quali non sono disponibili i dati a carico parziale ma unicamente i valori relativi alle condizioni nominali. Il prospetto I.1 si riferisce ai motori a combustione interna a ciclo otto, mentre il prospetto I.2 alle turbine a gas a compressore centrifugo con recupero di calore sui gas di scarico. Nota la potenza elettrica ed i rendimenti termico ed elettrico a carico nominale ($FC_{el} = 1$) si utilizzano nella sequenza indicata le seguenti relazioni per ricostruire le potenze erogate ed il fabbisogno di combustibile ai diversi fattori di carico:

$$\Phi_{chp,el,out} = FC_{el} \times \Phi_{chp,el,nom} \quad (I.1)$$

$$\Phi_{chp,p,in} = \delta \times \Phi_{chp,p,nom} \quad (I.2)$$

$$\Phi_{chp,term,out} = \gamma \times \delta \times (\eta_{el,chp,nom} + \eta_{ter,chp,nom}) - \Phi_{chG,el,out} \quad (I.3)$$

prospetto I.1 - Curva prestazionale normalizzata per motori a combustione interna

$FC_{el} = \Phi_{el,chp,out} / \Phi_{el,chp,nom}$	$\gamma = \eta_{1^\circ,chp,out} / \eta_{1^\circ,chp,nom}$	$\delta = \Phi_{p,chp,in} / \Phi_{p,chp,nom}$
1,000	1,000	1,000
0,900	1,011	0,929
0,800	1,000	0,881
0,700	0,992	0,832
0,600	0,991	0,774
0,500	0,991	0,716
0,400	0,988	0,664
0,300	0,986	0,592
0,200	0,983	0,486
0,100	0,981	0,317
FC_{el} pari a 10,0% è considerato il minimo tecnico		



prospetto I.2 - Curva prestazionale normalizzata per motori a combustione interna

$FC_{el} = \Phi_{el, chp, out} / \Phi_{el, chp, nom}$	$\gamma = \eta_{1^\circ, chp, out} / \eta_{1^\circ, chp, nom}$	$\delta = \Phi_{p, chp, in} / \Phi_{p, chp, nom}$
1,000	1,000	1,000
0,900	0,991	0,929
0,800	0,988	0,881
0,700	0,986	0,876
0,600	0,983	0,860
0,500	0,981	0,843
0,400	0,931	0,830
0,300	0,881	0,789
0,200	0,831	0,694
FC _{el} pari a 20,0% è considerato il minimo tecnico		

I.2 Esempio di calcolo

Per un'unità costituita da motore a combustione interna con recupero su olio, acqua e fumi di scarico, caratterizzato dai seguenti valori nominali:

- potenza elettrica nominale netta: $\Phi_{chp, el, nom} = 11,76$ kW (ossia diminuita degli assorbimenti degli ausiliari dipendenti come definiti nel punto 11.4.1.3);
- rendimento elettrico netto a carico nominale: $\eta_{el, chp, nom} = 27,8\%$;
- rendimento termico a carico nominale: $\eta_{ter, chp, nom} = 56,0\%$;

si possono ricavare mediante i valori del prospetto I.1 e le relazioni (I.1) (I.2) e (I.3) le seguenti curve prestazionali.



prospetto I.2 - Esempio curva prestazionale standard per un motore a combustione interna

FC_{el}	$\Phi_{el, chp, out}$	$\Phi_{ter, chp, out}$	$\Phi_{p, chp, in}$
100,0%	11,76 kW	23,69 kW	42,30 kW
90,0%	10,58 kW	22,74 kW	39,32 kW
80,0%	9,41 kW	21,83 kW	37,27 kW
70,0%	8,23 kW	21,01 kW	35,19 kW
60,0%	7,06 kW	20,14 kW	32,74 kW
50,0%	5,88 kW	19,29 kW	30,30 kW
40,0%	4,70 kW	18,56 kW	28,09 kW
30,0%	3,53 kW	17,16 kW	25,03 kW
20,0%	2,35 kW	14,59 kW	20,56 kW
10,0%	1,18 kW	9,83 kW	13,39 kW



Appendice J (normativa) Sistemi cogenerativi: curve prestazionali a carico variabile

J.1 Generalità

I dati prestazionali devono essere basati su valori relativi al sistema assemblato, come dichiarato dal fabbricante secondo le norme pertinenti.

Qualora l'unità cogenerativa sia in grado di sfruttare la condensazione dei fumi di scarico, la curva di rendimento termico e o potenza termica erogata deve essere rilevata per due condizioni di temperatura dell'acqua in ingresso (alta e bassa temperatura).

Preferenzialmente si utilizzano rispettivamente 60 °C e 35 °C. Le temperature devono comunque essere non maggiori di 70 °C e non minori di 30 °C e chiaramente specificate a margine delle curve.

Le curve prestazionali sono generalmente ricavate variando il fattore di carico elettrico FC_{el} definito come $\Phi_{el,CG,out} / \Phi_{el,CG,nom}$. Ai fini dell'applicazione dei metodi di calcolo della presente specifica tecnica, gli effettivi punti di funzionamento per ogni singolo intervallo orario sono quindi trovati per interpolazione lineare in funzione del fattore di carico termico FC_{ter} conseguente al fabbisogno termico in ingresso al sottosistema di distribuzione, come indicato nei punti 15.8.4 e 15.8.5.

Nota: Poiché i rendimenti termici sono generalmente maggiori dei rendimenti elettrici FC_{el} , ne segue che il minimo tecnico FC_{ter} risulta numericamente maggiore del minimo FC_{el} .

J.2 Derating per temperatura di ingresso acqua

Per il calcolo delle prestazioni effettive di cui sopra qualora si possa determinare con sufficiente accuratezza la temperatura media attesa di ritorno dal sistema di distribuzione ($\theta_{d,out,avg,h}$) ed il fabbricante abbia reso disponibile i dati prestazionali sia ad alta sia a bassa temperatura, si devono interpolare linearmente i dati dichiarati per calcolare la potenza termica erogata nell'effettiva condizione di funzionamento presunta.

Per esempio se sono disponibili i dati a 60 °C e 35 °C, si ha:

$$\Phi_{CG,term,out,cor} = \Phi_{CG,term,out,test,\theta=35^{\circ}C} + (\Phi_{CG,term,out,test,\theta=60^{\circ}C} - \Phi_{CG,term,out,test,\theta=35^{\circ}C}) \times (\theta_{CG,in} - 60) / (60 - 35) \text{ [kW]} \quad (J.1)$$

dove:

$\theta_{CG,in}$ effettiva temperatura media del fluido all'ingresso dell'unità cogenerativa, da assumersi pari a $\theta_{d,out,avg,h}$

Nel caso dei cicli Stirling, anche la potenza elettrica generata varia sensibilmente in funzione della temperatura di ingresso acqua e deve necessariamente esserne tenuto conto. Ai fini dell'applicazione di questo metodo di calcolo devono quindi essere disponibili i dati di potenza e rendimento elettrico corrispondenti ad almeno due diverse temperature di ingresso acqua. Si utilizza quindi una relazione duale a quella della (1), ossia, ipotizzando nuovamente che siano noti i dati a 60 °C e 35 °C:

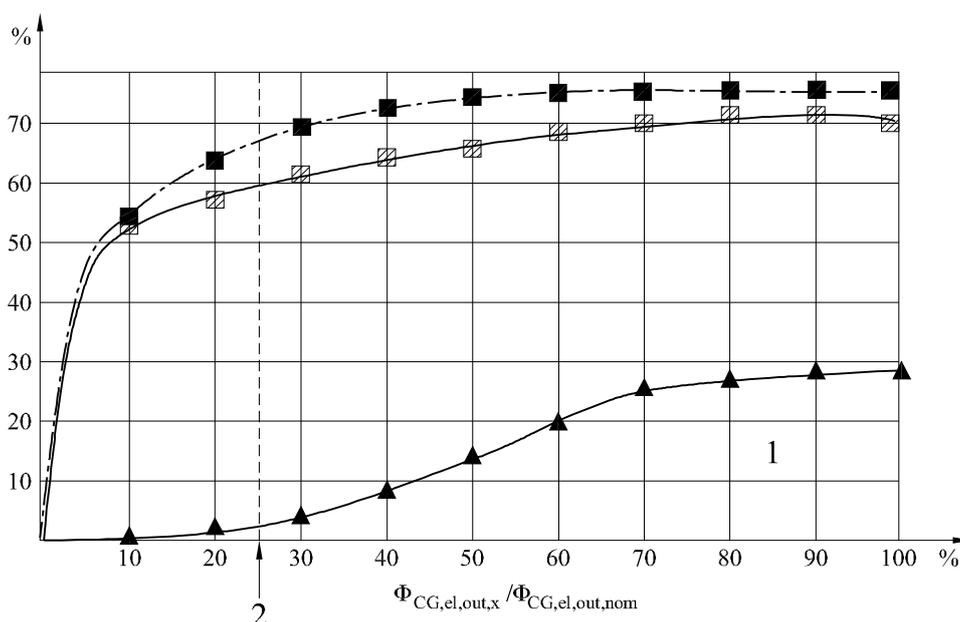
$$\Phi_{CG,el,out,cor} = \Phi_{CG,el,out,test,\theta=35^{\circ}C} + (\Phi_{CG,el,out,test,\theta=60^{\circ}C} - \Phi_{CG,el,out,test,\theta=35^{\circ}C}) \times (\theta_{CG,in} - 60) / (60 - 35) \text{ [kW]} \quad (J.2)$$



figura J.1

Legenda

- ▲ Punti sperimentali rendimento elettrico netto
- ▨ Punti sperimentali rendimento termico $\theta_{CG,in} = 35\text{ °C}$
- Punti sperimentali rendimento termico $\theta_{CG,in} = 60\text{ °C}$
- 1 Temperatura ambiente: 20 °C U.R: 65%
- 2 Eventuale minimo tecnico



In alternativa e per la sola potenza termica, se il fabbricante rende noti i soli dati prestazionali ad alta temperatura (per esempio 60 °C) ed il relativo dato di temperatura fumi in uscita a carico nominale, per unità alimentate a gas naturale o GPL, è possibile determinare il rendimento termico nel funzionamento a bassa temperatura utilizzando i valori del prospetto J.1.

prospetto J.1 – Incrementi di rendimento per condensazione fumi per unità alimentate a gas

ΔT fumi – acqua in ingresso a P_n	Valore base	F2	F7			
			30	40	50	>50
<12	$\eta_{CG,term,test} \theta=60\text{ °C}$	-1	+7	+3	+1	0
da 12 a 24		-1	+4	+2	+1	0
da 24 a 36		-1	+2	+1	0	0
>36		-1	0	0	0	0
F2	installazione all'esterno					
F7	temperatura media dell'acqua in uscita dal sottosistema di distribuzione durante l'intervallo di calcolo considerato					



J.3 Derating per condizioni di installazione / funzionamento

Qualora l'unità cogenerativa si trovi a funzionare in condizioni ambiente significativamente differenti rispetto alle condizioni di prova utilizzate per ricavare le curve prestazionali, come per esempio temperature ambiente particolarmente elevate o quote sul livello del mare maggiori di 300 m per turbine a gas o a 800 m per motori a combustione interna non sovralimentati, il fabbricante deve fornire i dati necessari per applicare il relativo de-rating alle curve prestazionali in condizioni di riferimento.

Anche l'influenza di eventuali cadute di pressione aggiuntive eventualmente presenti alle flange di ingresso e scarico delle turbine a gas rispetto alle condizioni di prova normalizzate deve essere tenuta in debito conto.

Una asseverazione in merito a questi aspetti, se pertinenti, deve essere allegata alla relazione di calcolo.

J.4 Curve prestazionali a carico variabile con generatore di calore integrativo a fiamma o by-pass fumi

Qualora l'unità sia dotata di un generatore integrativo a fiamma o della possibilità di by-passare lo scambiatore fumi, viene definito anche un fattore di carico aggiuntivo corrispondente al by-pass chiuso $FC_{100\%,by-pass-chiuso}$ (innalzamento del rendimento termico a parità di potenza termica entrante con il combustibile) o al bruciatore integrativo attivo $FC_{100\%,bruciatore-on}$ (incremento della potenza termica in uscita e della potenza termica entrante con il combustibile, con conseguente riduzione del rendimento elettrico).

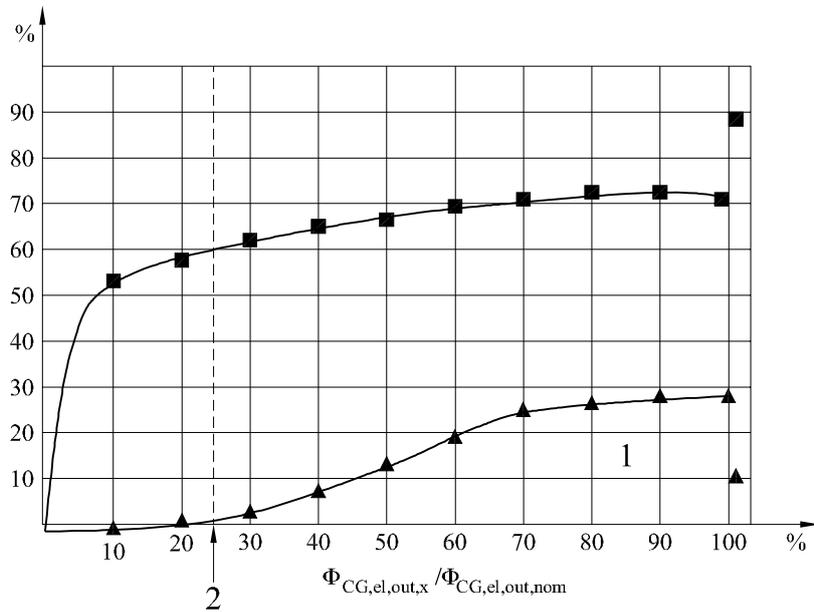
Sia in un caso sia nell'altro, viene assunto che il bruciatore integrativo compreso nel sistema cogenerativo ovvero la chiusura del by-pass fumi intervengano in maniera prioritaria rispetto ad eventuali altri generatori di calore integrativi esterni al sottosistema.



figura J.2

Legenda

- ▲ Punti sperimentali rendimento elettrico ai vari fattori di carico
- Punti sperimentali rendimento termico ai vari fattori di carico
- 1 Temperatura acqua: in 60 °C, out 80 °C
- 2 Eventuale minimo tecnico





Appendice K (normativa)
Sistemi cogenerativi: esempi di calcolo

K.1 Calcolo della dimensione dell'accumulo e dell'indice di congruità

Dato l'edificio con fabbisogni in ingresso al sottosistema di distribuzione come da prospetto K.1 in cui è installata una sezione cogenerativa con potenza elettrica nominale netta pari a 11,76 kW e potenza termica nominale pari a 23,69 kW accoppiata ad un sistema di accumulo inerziale da 900 l, si determina per ciascun intervallo di calcolo la dimensione congrua del sistema di accumulo inerziale e di conseguenza il valore dell'indice di congruità.

prospetto K.1 – Fabbisogni mensili dell'edificio

	G_{mese}	$Q_{H,d,\text{mese}}$ [kWh]	$Q_{W,d,\text{mese}}$ [kWh]
gen	31	41270	1910
feb	28	31.260	1 720
mar	31	21 460	1 910
apr	30	4 980	1 840
mag	31	-	1 910
giu	30	-	1 840
lug	31	-	1 910
ago	31	-	1 910
set	30	-	1 840
ott	31	6 220	1 910
nov	30	25 570	1 840
dic	31	38 120	1 910
TOT. ANNO	365	168 880	22 450

Non essendo presente alcun sistema ad assorbimento per raffreddamento e tenuto conto che:

$$3,00 \text{ h} \times \sum_i \Phi_{CGi,ter,out,nom} = 71,07 \text{ kWh}$$

$$4,00 \text{ h} \times \sum_i \Phi_{CGi,ter,out,nom} = 94,76 \text{ kWh}$$

si ottiene il dimensionamento riportato nel prospetto K.2.



prospetto K.2 – Dimensioni accumulo congruo

	$0,25 Q_{H,d,in,avg,giorno} + 0,29 Q_{W,d,in,avg,giorno}$	$0,40 Q_{HR,ass,in,avg,giorno} + 0,29 Q_{W,d,in,avg,giorno}$	$Q_{CG,s,design}$ [kWh]
gen	350,69		71,07
feb	296,92		71,07
mar	190,93		71,07
apr	59,29		59,29
mag		17,87	17,87
giu		17,79	17,79
lug		17,87	17,87
ago		17,87	17,87
set		17,79	17,79
ott	68,03		68,03
nov	230,87		71,07
dic	325,29		71,07

La temperatura di mandata dell'unità cogenerativa è pari a 80 °C; assumendo una temperatura media di ritorno coerente con il tipo di impianto in esame pari a 45 °C per tutti gli intervalli di calcolo, si ottiene

$$Q_{CG,s} = 987 \times 0,900 \times 4,186 \times (80 - 45) / 3\,600 = 36,15 \text{ kWh}$$

L'indice di congruità dell'accumulo per ciascun intervallo di calcolo è indicato nel prospetto K.3.



prospetto K.3 – Determinazione indice di congruità

	gen	Feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
$Q_{CG,s}$	36,15	36,15	36,15	36,15	36,15	36,15	36,15	36,15	36,15	36,15	36,15	36,15
$Q_{CG,s,design}$	71,07	71,07	71,07	59,29	17,87	17,87	17,87	17,87	68,03	71,07	71,07	71,07
α	0,51	0,51	0,51	0,61	> 1,00	> 1,00	> 1,00	> 1,00	0,53	0,51	0,51	0,51

Nota 1 È ammesso considerare una temperatura media di ritorno dal sottosistema di distribuzione ridotta nei mesi estivi qualora sia attiva solo la produzione di acqua calda sanitaria, purché la soluzione impiantistica adottata (dimensionamento degli scambiatori di calore preposti alla produzione di acqua calda sanitaria) lo consenta effettivamente.

Nota 2 Vengono considerati ai fini della verifica di cui sopra solo sistemi di accumulo utilizzando un fluido in circuito chiuso; i boiler per la preparazione dell'acqua calda sanitaria – essendo vincolati ad una regolazione volta a garantire un determinato servizio all'utenza ed ai profili di prelievo – non sono inclusi nel computo della capacità di accumulo termico inerziale.

K.2 Calcolo del profilo giornaliero di carico

In funzionamento invernale, analizzando come intervallo di calcolo il mese di Ottobre per la provincia di Milano, si calcolano i valori di $\theta_{med,mese}$ e $\Delta\theta_{mese}$, pari rispettivamente a 14 °C e 6,4 °C. I valori $\rho_{h,mese}$ si desumono dal prospetto K.4 e portano al seguente calcolo.

prospetto K.4 – Esempio di calcolo del profilo giornaliero per riscaldamento

h	$\theta_{h,mese}$	$\rho_{h,mese}$	$ 17^{\circ}\text{C}-\theta_{H,mese} $	$\Phi_{H,d,in,h} / Q_{H,d,in,avg,giorno}$
1	12,40	-0,25	4,60	6,2%
2	12,21	-0,28	4,79	6,5%
3	11,95	-0,32	5,05	6,9%
4	11,76	-0,35	5,24	7,1%
5	11,57	-0,38	5,43	7,4%
6	11,44	-0,40	5,56	7,6%
7	11,31	-0,42	5,69	7,7%
8	11,57	-0,38	5,43	7,4%
9	12,46	-0,24	4,54	6,2%
10	13,87	-0,02	3,13	4,2%
11	15,28	0,20	1,72	2,3%



12	16,24	0,35	0,76	1,0%
13	17,07	0,48	<0,00	0,0%
14	17,52	0,55	<0,00	0,0%
15	17,58	0,56	<0,00	0,0%
16	17,39	0,53	<0,00	0,0%
17	16,82	0,44	0,18	0,2%
18	16,05	0,32	0,95	1,3%
19	15,02	0,16	1,98	2,7%
20	14,19	0,03	2,81	3,8%
21	13,62	-0,06	3,38	4,6%
22	13,23	-0,12	3,77	5,1%
23	12,85	-0,18	4,15	5,6%
24	12,53	-0,23	4,47	6,1%
TOTALE				100,0%

Passando al funzionamento estivo e analizzando come intervallo di calcolo il mese di Giugno per la provincia di Milano, in base ai valori di $\theta_{med,mese}$ e $\Delta\theta_{mese}$, pari rispettivamente a 22,5 °C e 9,8 °C. I valori $\rho_{h,mese}$ si desumono dalla prospetto K.5 e portano al seguente calcolo.

prospetto K.5 – Esempio di calcolo del profilo giornaliero per raffrescamento

h	$\theta_{h,mese}$	$\rho_{h,mese}$	$ \theta_{H,mese}-23^{\circ}\text{C} $	$\Phi_{C,d,in,h} / Q_{C,d,in,avg,giorno}$
1	19,17	-0,34	<0,00	0,0%
2	18,58	-0,40	<0,00	0,0%
3	18,19	-0,44	<0,00	0,0%
4	17,70	-0,49	<0,00	0,0%
5	17,60	-0,50	<0,00	0,0%
6	17,99	-0,46	<0,00	0,0%
7	18,78	-0,38	<0,00	0,0%



8	20,05	-0,25	<0,00	0,0%
9	21,72	-0,08	<0,00	0,0%
10	23,77	0,13	0,77	2,4%
11	25,44	0,30	2,44	7,5%
12	26,32	0,39	3,32	10,2%
13	26,91	0,45	3,91	12,0%
14	27,20	0,48	4,20	12,9%
15	27,30	0,49	4,30	13,2%
16	27,11	0,47	4,11	12,6%
17	26,62	0,42	3,62	11,1%
18	25,93	0,35	2,93	9,0%
19	25,05	0,26	2,05	6,3%
20	23,97	0,15	0,97	3,0%
21	22,89	0,04	<0,00	0,0%
22	21,52	-0,10	<0,00	0,0%
23	20,44	-0,21	<0,00	0,0%
24	19,76	-0,28	<0,00	0,0%
TOTALE				100,0%

K.3 Calcolo del profilo di carico del giorno tipo mensile con il metodo

Edificio residenziale con sezione cogenerativa costituita da unità modulante con potenza elettrica nominale netta $\Phi_{CG,el,nom} = 11,76$ kW. Sottosistema privo di accumulo termico inerziale.

Località Milano. Intervallo di calcolo: mese di Ottobre.

Per le curve prestazionali dell'unità si assumono i dati da appendice J.

I fabbisogni termici di Ottobre dell'edificio sono pari a:

$$Q_{W,d,in} = 1\,910 \text{ kWh}; \quad Q_{H,d,in} = 6\,220 \text{ kWh}$$

Si determina il profilo orario della potenza termica in ingresso al sistema di distribuzione $\Phi_{H,W,d,in,h}$ e di conseguenza il fattore di carico termico a cui si trova ad operare l'unità di cogenerazione.

I risultati ottenuti sono riportati nel prospetto K.6.



prospetto K.6

h	$\frac{\Phi_{H,W,d,in,h}}{Q_{H,W,d,in,avg,giorno}}$	$\Phi_{H,W,d,in,h}$ [kWh]	FC _{term}	$\Phi_{CG,ter,out,h}$ [kWh]
1	6,2%	14,08	59%	14,08
2	6,5%	14,77	62%	14,77
3	6,9%	15,47	65%	15,47
4	7,1%	14,28	60%	14,28
5	7,4%	14,80	62%	14,80
6	7,6%	15,15	64%	15,15
7	7,7%	24,08	100%	23,69
8	7,4%	23,38	99%	23,38
9	6,2%	20,94	88%	20,94
10	4,2%	10,24	43%	10,24
11	2,3%	6,40	27%	6,40
12	1,0%	3,79	16%	3,79
13	0,0%	1,72	0%	0,00
14	0,0%	0,43	0%	0,00
15	0,0%	0,43	0%	0,00
16	0,0%	0,43	0%	0,00
17	0,2%	0,93	0%	0,00
18	1,3%	11,18	47%	11,18
19	2,7%	13,97	59%	13,97
20	3,8%	9,37	40%	9,37
21	4,6%	10,94	46%	10,94
22	5,1%	11,98	51%	11,98
23	5,6%	11,31	48%	11,31



24	6,1%	12,19	51%	12,19
TOTALE GIORNO TIPO				257,93
TOTALE MESE ($Q_{CG,ter,out,mese}$)				7 995,93

Interpolando sulle curve caratteristiche dell'unità in funzione di $\phi_{CG,ter,out,h}$ si trovano per ogni ora di funzionamento anche la potenza elettrica netta erogata ed il corrispondente fabbisogno di combustibile. La loro sommatoria determina i totali sul giorno tipo mensile.

prospetto K.7

h	FC_{term}	$\phi_{CG,el,out,h}$ [kWh]	$\phi_{CG,p,in,h}$ [kWh]
1	59%	0,00	0,00
2	62%	0,00	0,00
3	65%	0,00	0,00
4	60%	0,00	0,00
5	62%	0,00	0,00
6	64%	0,00	0,00
7	100%	0,00	0,00
8	99%	0,00	0,00
9	88%	0,00	0,00
10	43%	0,00	0,00
11	27%	0,00	0,00
12	16%	0,00	0,00
13	0%	0,00	0,00
14	0%	0,00	0,00
15	0%	0,00	0,00
16	0%	0,00	0,00
17	0%	0,00	0,00
18	47%	0,00	0,00



19	59%	0,00	0,00
20	40%	0,00	0,00
21	46%	0,00	0,00
22	51%	0,00	0,00
23	48%	0,00	0,00
24	51%	0,00	0,00
TOTALE GIORNO TIPO		XX,XX	YY,YY

Interpolare linearmente i dati dal prospetto K.6 e inserire i dati nel prospetto K.7.

Si ottiene così il contributo della sezione cogenerativa nell'intervallo di calcolo considerato (ottobre).

$$Q_{CG,ter,out,mese} = 31 \times 257,93 \text{ [kWh/mese]}$$

$$Q_{CG,el,out,mese} = 31 \times XX,XX \text{ [kWh/mese]}$$

$$Q_{CG,p,in,mese} = 31 \times YY,YY \text{ [kWh/mese]}$$

Analoga procedura per tutti i rimanenti mesi dell'anno.



Appendice L (normativa)

Sistemi cogenerativi: unità compatte basate su motore stirling cogenerativo e bruciatore ausiliario per integrazione a bordo

L.1 Generalità

Nella determinazione del profilo di carico del giorno tipo mensile per la sezione cogenerativa, di cui al punto 11.4.2.1, si considera anche l'energia richiesta per acqua calda sanitaria unicamente se è previsto un boiler sanitario ad accumulo o un accumulo inerziale congruo ($\alpha \geq 1$) così come verificato dal punto 11.3.3. Qualora la preparazione dell'acqua calda sanitaria sia istantanea mediante scambiatore rapido e non sia presente un accumulo termico inerziale rispondente ai requisiti sopra visti, si assume che l'energia termica necessaria alla produzione di acqua calda sanitaria sia interamente fornita dal generatore di calore integrativo.

Per la determinazione delle prestazioni si utilizza unicamente il metodo di calcolo del giorno tipo mensile con le seguenti varianti.

L.2 Sistemi senza accumulo termico inerziale

(a) Sottosistemi con unica unità

Per ciascuno dei 24 intervalli orari in cui è diviso il profilo giornaliero di richiesta termica si determina il corrispondente fattore di carico termico della sezione cogenerativa definito come:

$$FC_{ter,h} = \Phi_{d,in,h} / \Phi_{CG,ter,nom} \quad [-] \quad (L.1)$$

Il campo di modulazione dell'unità è compreso tra 1 e un fattore di carico FC_{min} determinato dalla minima potenza ammissibile dichiarata dal fabbricante.

Si possono quindi presentare i seguenti casi:

(1) $FC_{ter,min} < \Phi_{d,in,h} / \Phi_{CG,ter,nom}$ e compreso tra 1 e FC_{min}

in tal caso le prestazioni teoriche della sezione cogenerativa al fattore di carico $FC_{ter,h}$:

$$\Phi_{CG,ter,out,h}; \Phi_{CG,el,out,h}; \Phi_{CG,p,in,h} \quad [W] \quad (L.2)$$

vengono calcolate interpolando linearmente sulle curve prestazionali dell'unità in funzione di $\Phi_{CG,ter,out,h}$. Qualora il fabbricante renda disponibile solo le prestazioni nominali a fattore di carico unitario, si possono utilizzare le curve normalizzate riportate nell'appendice I.

La prestazione reale nell'intervallo di calcolo h viene determinata introducendo dei fattori correttivi f_{corr} in funzione del fattore di carico dell'intervallo precedente (h-1). I fattori sono desunti dai prospetti del punto L.3.

$$\Phi_{CG,ter,out,h} = f_{corr,ter} \times \Phi_{CG,ter,out,h,id}; \Phi_{CG,el,out,h} = f_{corr,el} \times \Phi_{CG,el,out,h,id}; \Phi_{CG,p,in,h} = f_{corr,p} \times \Phi_{CG,p,in,h,id} \quad [W] \quad (L.3)$$

(2) $\Phi_{d,in,h} / \Phi_{CG,ter,nom} < FC_{min}$

ossia il fattore di carico risulta minore del minimo valore ammissibile per l'unità di cogenerazione. in tal caso si pone (l'unità è disattivata):

$$FC_{ter,h} = \Phi_{CG,ter,out,h} = \Phi_{CG,el,out,h} = \Phi_{CG,p,in,h} = 0 \quad [-] \quad (L.4)$$

Il fabbisogno di calore in ingresso al sottosistema di distribuzione $\Phi_{d,in,h}$ deve essere integralmente soddisfatto dal generatore di calore integrativo non cogenerativo.

$$(3) \Phi_{d,in,h} / \Phi_{CG,ter,nom} > 1$$

ossia il fattore di carico risulta maggiore di 1. In tal caso l'unità funziona a carico nominale:

$$FC_{ter,h} = 1; \Phi_{CG,ter,out,h,id} = \Phi_{CG,ter,out,nom}; \Phi_{CG,el,out,h,id} = \Phi_{CG,el,out,nom}; \Phi_{CG,p,hn,h} = \Phi_{CG,p,hn,nom} \quad [-] \quad (L.5)$$

Tuttavia, anche in questo caso la prestazione reale del motore stirling viene determinata utilizzando un fattore correttivo f_{corr} in funzione del fattore di carico dell'intervallo precedente (h-1).

$$\Phi_{CG,ter,out,h} = f_{corr,ter} \times \Phi_{CG,ter,out,h,id}; \Phi_{CG,el,out,h} = f_{corr,el} \times \Phi_{CG,el,out,h,id}; \Phi_{CG,p,in,h} = f_{corr,p} \times \Phi_{CG,p,in,h,id} \quad [W] \quad (L.6)$$

L'eventuale fabbisogno residuo di calore ($\Phi_{d,in,h} - \Phi_{CG,ter,out,h}$) deve essere soddisfatto dal generatore di calore integrativo non cogenerativo.

L.3 Sistemi senza accumulo termico inerziale

Non vi sono differenze nell'applicazione del metodo di calcolo presentato nel punto L.2.

Fattori di correzione dinamici per cicli stirling

I seguenti fattori di correzione tengono conto delle rampe associate ai cicli stirling quando viene richiesta al generatore l'erogazione di una potenza crescente. Il fattore si determina in base al fattore di carico teorico dell'intervallo di calcolo in considerazione ($FC_{ter,h} = \Phi_{d,in,h} / \Phi_{CG,ter,nom}$) e al fattore di calcolo teorico dell'intervallo di calcolo precedente ($FC_{ter,h-1} = \Phi_{d,in,h-1} / \Phi_{CG,ter,nom}$).

prospetto L.1 – Valori di $f_{corr,ter}$

		$FC_{ter,h-1}$											
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$FC_{ter,h}$	0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,1	1,039	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,2	1,078	1,039	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,3	1,118	1,078	1,049	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,4	1,157	1,118	1,079	1,039	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,5	1,196	1,157	1,109	1,078	1,039	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,6	1,158	1,132	1,104	1,079	1,053	1,026	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,7	1,148	1,127	1,089	1,084	1,063	1,042	1,021	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,8	1,137	1,120	1,073	1,086	1,069	1,052	1,034	1,017	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,9	1,127	1,113	1,056	1,085	1,070	1,056	1,042	1,028	1,014	1,000	1,000	1,000
	1,0	0,980	0,982	0,984	0,986	0,988	0,990	0,992	0,994	0,996	0,998	1,000	1,000

prospetto L.2 – Valori di $f_{corr,el}$

		$FC_{ter,h-1}$										
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$FC_{ter,h}$	0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,1	1,007	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,2	1,014	1,007	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,3	1,021	1,014	1,018	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,4	1,028	1,021	1,027	1,007	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,5	1,035	1,028	1,035	1,014	1,007	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,6	1,019	1,016	1,030	1,009	1,006	1,003	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,7	1,015	1,013	1,019	1,009	1,006	1,004	1,002	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,8	1,012	1,010	1,008	1,007	1,006	1,004	1,003	1,001	1,000	1,000	1,000
	0,9	1,008	1,007	0,997	1,005	1,004	1,004	1,003	1,002	1,001	1,000	1,000
	1,0	0,958	0,963	0,967	0,971	0,975	0,979	0,983	0,988	0,992	0,996	1,000

prospetto L.3 – Valori di $f_{corr,p}$

		$FC_{ter,h-1}$										
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$FC_{ter,h}$	0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,1	1,078	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,2	1,156	1,078	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,3	1,233	1,156	1,097	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,4	1,311	1,233	1,156	1,078	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,5	1,389	1,311	1,214	1,156	1,078	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,6	1,324	1,270	1,209	1,162	1,108	1,054	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,7	1,305	1,262	1,185	1,174	1,131	1,087	1,044	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,8	1,286	1,250	1,158	1,179	1,143	1,107	1,072	1,036	1,000	1,000	1,000
	0,9	1,267	1,237	1,129	1,178	1,148	1,119	1,089	1,059	1,030	1,000	1,000
	1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000



Bibliografia

- [1] E0206C020 Sistemi geotermici a pompa di calore – Requisiti per il dimensionamento e la progettazione

Copyright

Riproduzione vietata. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il consenso scritto dell'UNI.