

## 4 Fabbisogno nominale annuo di energia termica latente dell'edificio

Il fabbisogno annuale nominale di energia termica latente di un edificio viene determinato sommando il fabbisogno nominale di entalpia di vapore d'acqua delle singole zone termiche calcolato su base mensile, separatamente per la umidificazione e la deumidificazione, solo in presenza di sistemi impiantistici che consentano il controllo dell'umidità massica dell'aria nell'edificio, e viene calcolato una sola volta considerando l'effettivo modo di ventilare l'edificio.

Si ha, quindi:

$$\begin{aligned}
 Q_{Bh, hum, yr} &= \sum_{m=1}^{12} Q_{Bh, hum, m} = \sum_{m=1}^{12} \left( \sum_{i=1}^{N_z} Q_{Nh, hum, i, m} \right) \\
 Q_{Bh, dhum, yr} &= \sum_{m=1}^{12} Q_{Bh, dhum, m} = \sum_{m=1}^{12} \left( \sum_{i=1}^{N_z} Q_{Nh, dhum, i, m} \right)
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

dove:

- $Q_{Bh, hum, yr}$  è il fabbisogno annuale nominale di entalpia per l'umidificazione dell'edificio, [kWh];
- $Q_{Bh, hum, m}$  è il fabbisogno nominale di entalpia per l'umidificazione dell'edificio nel mese m-esimo, [kWh];
- $Q_{Nh, hum, i, m}$  è il fabbisogno nominale di entalpia per l'umidificazione della zona termica i-esima nel mese m-esimo, [kWh];
- $Q_{Bh, dhum, yr}$  è il fabbisogno annuale nominale di entalpia per la deumidificazione dell'edificio, [kWh];
- $Q_{Bh, dhum, m}$  è il fabbisogno nominale di entalpia per la deumidificazione dell'edificio nel mese m-esimo, [kWh];
- $Q_{Nh, dhum, i, m}$  è il fabbisogno nominale di entalpia per la deumidificazione della zona termica i-esima nel mese m-esimo, [kWh];
- m è il mese considerato;
- i è la zona termica considerata;
- $N_z$  è il numero delle zone termiche in cui è stato suddiviso l'edificio.

### 4.1 Fabbisogno nominale di entalpia della zona

Il fabbisogno nominale di entalpia (di vapore d'acqua contenuto nell'aria) della zona viene determinato separatamente per la umidificazione e per la deumidificazione solo in presenza di sistemi impiantistici che consentano il controllo dell'umidità massica dell'aria della zona.

#### 4.1.1 Fabbisogno nominale di entalpia per l'umidificazione

Per ciascuna zona il fabbisogno nominale di entalpia per l'umidificazione (dovuto cioè al controllo dell'umidità dell'aria della zona) viene determinato come segue:

$$Q_{N_h, hum} = -\min[0; Q_{W_v, S, H} + Q_{W_v, V, H}] \quad (4.2)$$

dove:

$Q_{N_h, hum}$  è il fabbisogno di entalpia per l'umidificazione della zona considerata, [kWh];

$Q_{W_v, S, H}$  è l'entalpia del vapore di acqua prodotto all'interno della zona da persone e processi e sorgenti varie (cottura, lavaggi, ecc.), [kWh];

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

#### 4.1.2 Fabbisogno nominale di entalpia per la deumidificazione

Per ciascuna zona il fabbisogno nominale di entalpia per la deumidificazione (dovuta cioè al controllo dell'umidità dell'aria della zona) viene determinato come segue:

$$Q_{N_h, dhum} = \max[0; Q_{W_v, S, C} + Q_{W_v, V, C}] \quad (4.3)$$

dove:

$Q_{N_h, dhum}$  è il fabbisogno di entalpia per la deumidificazione della zona considerata, [kWh];

$Q_{W_v, S, C}$  è l'entalpia del vapore di acqua prodotto all'interno della zona da persone e processi e sorgenti varie (cottura, lavaggi, ecc.), [kWh];

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

#### 4.1.3 Entalpia del vapore d'acqua prodotto e immesso nella zona

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

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

$$Q_{W_v, S} = (G_{v, per} + G_{v, p}) \cdot h_v \cdot \Delta t \quad (4.4)$$

dove:

$Q_{W_v, S}$  è l'entalpia del vapore di acqua prodotto all'interno della zona da persone e processi e sorgenti varie (cottura, lavaggi, ecc.), [kWh];

$G_{v, per}$  è la portata massica media giornaliera di vapore d'acqua dovuta alla presenza di persone, [g/h];

$G_{v, p}$  è la portata massica media giornaliera di vapore d'acqua dovuta alla presenza di apparecchiature, [g/h];

$h_v$  è l'entalpia specifica del vapore di acqua convenzionalmente posta pari a 0,695, [Wh/g];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Per le abitazioni di categoria E.1 (1) e E.1 (2) si utilizza il valore convenzionale di  $(G_{v, per} + G_{v, p})$  pari a 250 g/h.

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

$$G_{v,per} = g_{v,per} \cdot i_s \cdot A \cdot f_{G,per} \quad (4.5)$$

dove:

$G_{v,per}$  è la portata massica media giornaliera di vapore d'acqua dovuta alla presenza di persone, [g/h];

$g_{v,per}$  è la portata massica specifica di progetto ricavabile dal Prospetto 4.II, [g/h persona];

$i_s$  è l'indice di affollamento (Prospetto 3.XIII), [persone/m<sup>2</sup>]; (si fa presente che nel caso in cui si impieghi un indice di affollamento dettagliato ambiente per ambiente, nel caso dei bagni la produzione di vapore si considera nulla in quanto l'aria degli stessi viene espulsa direttamente all'esterno e mai ricircolata; quindi l'umidità ivi prodotta non costituisce carico termico latente per la batteria dell'unità trattamento aria, se presente);

A è la superficie utile di pavimento, [m<sup>2</sup>];

$f_{G,per}$  è il fattore di presenza medio giornaliero (valore compreso tra 0 e 1), (Prospetto 4.I).

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

Prospetto 4.I- Fattore di presenza medio giornaliero nei locali climatizzati,  $f_{G,per}$   
(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

Categoria edificio	Attività	Applicazioni	$g_{v,per}$ [g/h pers.]
E.1,E.2	Seduto in attività leggera	ufficio, appartamento	65
E.1, E.2	Seduto in attività media	ufficio, appartamento	80
E.4.1	Seduto a riposo	teatro	45
E.4.3	Seduto al ristorante	ristorante	115
	Danza moderata	sala da ballo	230
	Attività atletica	discoteca	450
E.5	In piedi, lavoro leggero	negozio	80
	In movimento	banca	100
E.6.2	Attività atletica	palestra	450
E.8	In piedi, lavoro medio	officina	200
	In piedi, lavoro pesante	officina, cantiere	410
Varie	In cammino a 1,3 m/s	corridoi	265

Prospetto 4.II – Valori medi della portata di vapore  $g_{v,per}$  [g/h pers.], dovuti alla presenza di persone  
(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

Il valore della portata massica media giornaliera dovuta alle altre sorgenti si ricava dal Prospetto 4.IV con la seguente relazione:

$$G_{v,p} = \sum_i g_{v,p,i} \cdot N_i \cdot f_{G,i} \quad (4.6)$$

dove:

$g_{v,p,i}$  è la portata massica specifica di progetto per singola sorgente i-esima (Prospetto 4.IV), [g/h];

$N_i$  è il numero di sorgenti di tipo i-esimo presenti;

$f_{G,i}$  è il fattore di utilizzo medio giornaliero della sorgente i-esima, assunto pari a 1.

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise il valore di portata massica media giornaliera dovuta alla presenza di persone e di altre sorgenti si ricava, in funzione della destinazione d'uso, dal Prospetto 4.III.

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Portata massica media giornaliera ( $G_{v,per} + G_{v,p}$ ) / A [g/(h m <sup>2</sup> )]
E.1 (1)	Collegi, caserme, case di pena, conventi	6
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensioni ed attività similari	5
E.2	Edifici adibiti ad uffici ed assimilabili	6
E.3	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche o case di cura ed assimilabili	14
E.4 (1)	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	27
E.4 (2)	Mostre, musei	16
	Biblioteche	12
	Luoghi di culto	16
E.4 (3)	Bar	31
	Ristoranti	26
	Sale da ballo	31
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali ed assimilabili	9
E.6 (1)	Piscine, saune ed assimilabili	(*)
E.6 (2)	Palestre ed assimilabili	11
E.6 (3)	Servizi di supporto alle attività sportive	8
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche di tutti i livelli e assimilabili	16
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali ed assimilabili	(*)
(*) Attività di processo indipendente dalla presenza di persone, di conseguenza deve essere valutata in funzione della tipologia di processo e non è possibile determinare un unico valore		

**Prospetto 4.III – Portata massica media giornaliera per unità di superficie, ( $G_{v,per} + G_{v,p}$ ) / A**

(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

L'entalpia della quantità netta di vapore di acqua introdotta nella zona dagli scambi d'aria con l'ambiente circostante, per infiltrazione, aerazione e/o ventilazione naturale o meccanica, si calcola come:

$$Q_{wv,v} = \left( \sum_{k=1}^{N_k} \rho_a \dot{V}_{v,k} \cdot (x_k - x_i) \right) \cdot h_v \cdot \Delta t \quad (4.7)$$

dove:

- $Q_{wv,v}$  è l'entalpia della quantità netta di vapore di acqua introdotta nella zona dagli scambi d'aria con l'ambiente circostante per infiltrazione, aerazione e/o ventilazione, [kWh];
- $\rho_a$  è la massa volumica dell'aria, pari a 1,2 kg/m<sup>3</sup>;
- $\dot{V}_{v,k}$  è la portata volumetrica d'aria media giornaliera k-esima della zona dovuta a ventilazione naturale o aerazione o infiltrazione e dalla ventilazione meccanica, solo se distinta dalla portata d'aria di processo per il controllo dell'umidità dell'aria, [m<sup>3</sup>/h];
- $x_k$  è l'umidità massica media giornaliera dell'aria umida entrante con il flusso d'aria k-esimo, [g/kg]
- $x_i$  è l'umidità massica media giornaliera dell'aria umida uscente con il flusso d'aria k-esimo, che si assume pari al valore dell'umidità prefissata per l'aria della zona, [g/kg];
- $h_v$  è l'entalpia specifica del vapore di acqua convenzionalmente posta pari a 0,695, [Wh/g];
- $\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh];
- $N_R$  è il numero di flussi d'aria in ingresso alla zona provenienti dagli ambienti circostanti, sia ambiente esterno che altra zona o ambiente non climatizzato o da spazio soleggiato.

con:

$$x_i = 622 \frac{p_v}{101325 - p_v} = 622 \frac{p_{vs}(\theta_i) \cdot \phi_i}{101325 - p_{vs}(\theta_i) \cdot \phi_i}$$

$$p_{vs}(\theta_i) = 610,5 \cdot \exp\left[\frac{17,269 \cdot \theta_i}{\theta_i + 237,3}\right] \quad \text{per } \theta_i \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.8)$$

$$p_{vs}(\theta_i) = 610,5 \cdot \exp\left[\frac{21,875 \cdot \theta_i}{\theta_i + 265,5}\right] \quad \text{per } \theta_i < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

e

$$x_k = 622 \frac{p_{v,k}}{101325 - p_{v,k}} \quad (4.9)$$

dove:

- $\theta_i$  è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, (si veda 1.4), [°C];
- $p_{vs,i}$  è la pressione parziale del vapore di acqua, in condizioni di saturazione, presente nella zona termica considerata, [Pa];
- $p_{v,i}$  è la pressione parziale del vapore di acqua presente nella zona termica considerata, [Pa];
- $\phi_i$  è l'umidità relativa dell'aria umida della zona termica considerata, [-];
- $p_{vs,k}$  è la pressione parziale del vapore di acqua, in condizioni di saturazione, presente nell'aria umida in ingresso alla zona termica considerata, [Pa];
- $p_{v,k}$  è la pressione parziale del vapore di acqua presente nell'aria umida in ingresso alla zona termica considerata, (vedasi spiegazione di seguito), [Pa];
- $\phi_k$  è l'umidità relativa dell'aria umida in ingresso alla zona termica considerata, [-].

L'equazione (4.7) consente di calcolare l'entalpia netta entrante nella zona considerata per effetto di flussi d'aria entranti e uscenti dalla zona attraverso l'involucro e/o le partizioni interne (flussi d'aria interzona). Se il flusso d'aria proviene dall'ambiente esterno, l'umidità massica dell'aria in ingresso è quella dell'aria

esterna ed è calcolabile con l'equazione (4.9) tramite il valore medio giornaliero medio mensile della pressione parziale del vapore nell'aria esterna,  $p_{v,k}$ , desumibile dall'Allegato 1 - Prospetto IV.

Se il flusso d'aria entrante proviene da un ambiente non climatizzato o da uno spazio soleggiato, nell'ipotesi che in tali ambienti non vi sia produzione di vapore d'acqua o sottrazione per condensazione o assorbimento, l'umidità massica in ingresso è ancora quella dell'aria esterna e si calcola come riportato al paragrafo precedente.

Portata di vapore per apparecchiature	$P_{max}$ [W]	$g_{v,p}$ [g/h]
Apparecchiature per ufficio		
Macchine del caffè	1500	650
Apparecchiature ospedaliere		
Bagni	750-1800	350-850
Apparecchiature per ristorante		
Apparecchiature elettriche senza cappa		
Caffettiera (per litro)		300
Lavastoviglie (per 100 piatti/h)		150
Riscaldatore a immersione (per litro)	50	10
Griglia (per metro quadro)	29000	1600
Piatto riscaldatore	4900	2300
Carrello servizio cibi caldi (per litro)	50	5
Tostatrice	5300	3500
Apparecchiature a gas, senza cappa		
Griglia (per metro quadro)	50000	13000
Lavastoviglie (per 100 piatti all'ora)	400	50
Forno per pizza (per metro quadro)	15000	1000
Apparecchiature a gas, con cappa		
Friggitrice (per chilogrammo olio)	1500	100
Apparecchiature a vapore, senza cappa		
Riscaldatore (per chilogrammo all'ora di cibo)	200	15
Lavastoviglie (per 100 piatti all'ora)	900	150
Lavastoviglie (per 100 piatti all'ora)	350	150
Negozi e supermercati		
Banchi frigoriferi aperti		
Surgelati, ad un piano (per metro di banco)	200	-50
Surgelati, a due piani (per metro di banco)	550	-200
Surgelati, a tre piani (per metro di banco)	1250	-450
Surgelati, a 4 o 5 piani (per metro di banco)	1550	-550
Gelati (per metro di banco)	350	-100
Carni, ad un piano (per metro di banco)	300	-100
Carni, a più piani (per metro di banco)	850	-300
Latticini, a più piani (per metro di banco)	750	-250
Altri prodotti, ad un piano	200	-50
Altri prodotti, a più piani	750	-250

**Prospetto 4.IV – Valori medi della portata di vapore  $g_{v,p}$ , [g/h], dovuti alla presenza di apparecchiature caratterizzate dalla potenza massima assorbita  $P_{max}$  [W]**  
(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

## 5 Fabbisogno nominale annuo di acqua calda sanitaria

### 5.1 Fabbisogno termico nominale annuale per la produzione di acqua calda sanitaria

La quantificazione del fabbisogno termico nominale per la produzione di acqua calda ad usi igienico-sanitari,  $Q_{NW}$ , si determina effettuando un calcolo mensile e considerando un periodo di utilizzo giornaliero di 24 ore esteso a tutto l'anno.

$$Q_{NW,yr} = \sum_{m=1}^{12} Q_{NW,m} \quad (5.1)$$

dove:

$Q_{NW,yr}$  è il fabbisogno termico nominale annuale per la produzione dell'acqua calda sanitaria, [kWh];

$Q_{NW,i}$  è il fabbisogno termico nominale per la produzione dell'acqua calda sanitaria nel mese  $i$ -esimo, [kWh].

### 5.2 Fabbisogno termico nominale mensile per la produzione di acqua calda sanitaria

Il fabbisogno termico nominale mensile nel mese  $m$  per la produzione dell'acqua calda sanitaria è dato da:

$$Q_{NW,m} = \sum_{i=1}^{N_s} Q_{NW,i,m} = \sum_{i=1}^{N_s} \rho_w \cdot c_w \cdot V_{w,i} \cdot (\theta_{er,i} - \theta_0) \cdot N_m \quad (5.2)$$

dove:

$Q_{NW,i,m}$  è il fabbisogno termico nominale relativo all' $i$ -esimo servizio di fornitura di acqua calda sanitaria nel mese  $m$  considerato, [kWh];

$\rho_w$  è la massa volumica dell'acqua, assunta pari a  $1000 \text{ kg/m}^3$ ;

$c_w$  è la capacità termica specifica dell'acqua, assunta pari a  $1,162 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kg K}$ ;

$V_{w,i}$  è il volume d'acqua richiesta al giorno, [ $\text{m}^3/\text{giorno}$ ];

$\theta_{er,i}$  è la temperatura di erogazione dell'acqua calda sanitaria dell' $i$ -esimo servizio, presa convenzionalmente pari  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$\theta_0$  è la temperatura di fornitura dell'acqua potabile da parte dell'acquedotto o di estrazione da pozzi autorizzati, assunta pari alla temperatura media annuale dell'aria esterna desumibile dall'Allegato 1 - Prospetto I, [ $^\circ\text{C}$ ];

$N_s$  è il numero di servizi diversi di fornitura di acqua calda sanitaria;

$N_m$  è il numero di giorni del mese  $m$  considerato.

Si distinguono diversi servizi di fornitura di acqua calda sanitaria in quegli edifici che hanno più destinazioni d'uso, ad esempio edificio con destinazione d'uso terziario al piano terreno (supermercato, con rosticceria, panetteria, ecc.) e residenziale ai piani superiori dotato di impianto di riscaldamento condominiale unico.

In tal caso occorre poter quantificare separatamente le richieste di acqua calda sanitaria per le distinte unità immobiliari con destinazione d'uso diversa.

La produzione di acqua calda sanitaria, all'interno dello stesso servizio, può essere conseguente all'espletamento di attività diverse:

- a) per servizi igienici;
- b) per attività di cucina;
- c) per attività di lavanderia.

Altre attività impieganti acqua calda sanitaria sono considerate attività legate a processi tecnologici che non riguardano la permanenza delle persone e quindi correlate a processi produttivi non considerati dalla presente normativa.

Si considera comunque acqua calda sanitaria, oltre quella delle citate attività, quella utilizzata da un centro benessere che si trovi all'interno di un edificio ad uso alberghiero e sia di uso prioritario ai clienti dello stesso.

### 5.2.1 Volume di acqua richiesto per edifici residenziali

Per gli edifici residenziali il volume di acqua richiesto per unità immobiliare  $i$ -esima,  $V_{w,i}$ , espresso in  $m^3$ /giorno, è calcolato come:

$$V_{w,i} = (a_i \cdot S_{u,i} + b_i) \cdot 10^{-3} \quad (5.3)$$

dove:

$a_i$  è un parametro in litri/( $m^2$  giorno) ricavabile dal Prospetto 5.V;

$b_i$  è un parametro in litri/(giorno) ricavabile dal Prospetto 5.V;

$S_{u,i}$  è la superficie utile dell'abitazione espressa in metri quadri.

Superficie utile $S_u$ [ $m^2$ ]	$S_u \leq 35$	$35 < S_u \leq 50$	$50 < S_u \leq 200$	$S_u > 200$
Parametro $a$ [litri/( $m^2 \times$ giorno)]	0	2,667	1,067	0
Parametro $b$ [litri/giorno]	50	-43,33	36,67	250

Prospetto 5.V – Valori dei parametri  $a$  e  $b$  per destinazione d'uso residenziale

(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

Il volume di acqua richiesto complessivamente dall'edificio, espresso in  $m^3$ /giorno, è calcolato come:

$$V_w = \sum_{i=1}^{N_{ui}} V_{w,i} \quad (5.4)$$

dove:

$N_{ui}$  è il numero di unità immobiliari presenti nell'edificio.



### 5.2.2 Volume di acqua richiesto per altre tipologie di edifici

I volumi giornalieri di acqua calda sanitaria, relativi all'attività i-esima presente nell'edificio considerato, sono dati da:

$$V_{w,i} = (a_i \cdot Nu_i) \cdot 10^{-3} \quad (5.5)$$

dove:

$V_{w,i}$  è il volume d'acqua richiesta al giorno dall'attività i-esima, [m<sup>3</sup>/giorno];

$a_i$  è il fabbisogno giornaliero specifico per l'attività i-esima [l/giorno Nu];

$Nu_i$  è un parametro che dipende dall'attività i-esima.

Il valore di  $Nu_i$  e  $a_i$  si ricavano dal Prospetto 5.VI in funzione della destinazione d'uso dell'edificio.

Il volume di acqua richiesto complessivamente dall'edificio, espresso in m<sup>3</sup>/giorno, è calcolato come:

$$V_w = \sum_{i=1}^{N_a} V_{w,i} \quad (5.6)$$

dove:

$N_a$  è il numero di attività presenti nell'edificio.

Tipo di Attività	$a$	$N_u$	Categoria DPR 412/93
Dormitori, Residence e B&B	40	Numero di letti	E.1 (3)
Hotel fino a ***	60	Numero di letti	E.1 (3)
Hotel **** e oltre	80	Numero di letti	E.1 (3)
Attività ospedaliera con pernottò	80	Numero di letti	E.3
Attività ospedaliera day hospital (senza pernottò)	15	Numero di letti	E.3
Scuole e istruzione	0,2	Numero di bambini	E.7
Scuole materne e asili nido	8	Numero di bambini	E.7
Attività sportive/palestre	50	Per doccia installata	E.6 (2)
Spogliatoi di stabilimenti	10	Per doccia installata	E.6 (3)
Uffici	0,2	Sup.netta climatizzata	E.2
Esercizio Commerciale senza obbligo di servizi igienici per il pubblico	0	-	E.5
Esercizio Commerciale con obbligo di servizi igienici per il pubblico	0,2	Sup.netta climatizzata	E.5
Ristoranti – Caffetterie	65	Numero di coperti*	E.4 (3)
Catering, self service, Bar	25	Numero di coperti*	E.4 (3)
Servizio lavanderia	50	Numero di letti	n.d.
Centri benessere	200	Numero di ospiti	n.d.
Altro	0	-	n.d.
Nota: (* ) Il numero di coperti viene determinato come 1,5 volte l'occupazione convenzionale.			

Prospetto 5.VI – Coefficienti per il calcolo del fabbisogno di ACS per destinazioni d'uso diverse dal residenziale

(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

## 6 Fabbisogno nominale annuo energia elettrica per illuminazione

### 6.1 Introduzione

La metodologia di calcolo presentata di seguito viene applicata ad edifici con destinazione d'uso non residenziale e tiene conto della potenza elettrica installata e, in maniera semplificata, della disponibilità di luce naturale, delle modalità di occupazione e della presenza di eventuali sistemi di controllo sull'accensione del sistema di illuminazione.

Il fabbisogno di energia elettrica per illuminazione viene valutato considerando gli ambienti interni (zone climatizzate e zone non climatizzate) e le aree esterne di pertinenza esclusiva dell'edificio nelle quali gli apparecchi luminosi sono alimentati e collegati all'edificio stesso.

Il fabbisogno annuo di energia elettrica per illuminazione dell'edificio è quindi dato da:

$$W_{L,in,yr} = W_{L,in,int,yr} + W_{L,in,est,yr} = \sum_{m=1}^{12} W_{L,in,m} = \sum_{m=1}^{12} (W_{L,in,int,m} + W_{L,in,est,m}) \quad (6.1)$$

dove:

$W_{L,in,yr}$  è il fabbisogno annuale di energia elettrica per la sola illuminazione fissa dell'edificio, considerata applicabile solo a destinazioni d'uso non residenziali, [kWh];

$W_{L,in,int}$  è il fabbisogno annuale di energia elettrica per la sola illuminazione fissa interna all'edificio, [kWh];

$W_{L,in,est}$  è il fabbisogno annuale di energia elettrica per la sola illuminazione fissa esterna all'edificio, [kWh];

$W_{L,in,m}$  è il fabbisogno mensile di energia elettrica per la sola illuminazione fissa, [kWh];

$W_{L,in,int,m}$  è il fabbisogno mensile di energia elettrica per la sola illuminazione fissa interna all'edificio, [kWh];

$W_{L,in,est,m}$  è il fabbisogno mensile di energia elettrica per la sola illuminazione fissa esterna all'edificio, [kWh];

$m$  è l'indice del mese.

Il calcolo si effettua su base mensile, suddividendo ciascuna zona termica in ambienti con caratteristiche illuminotecniche omogenee.

## 6.2 Fabbisogno annuale di energia elettrica per illuminazione artificiale di una zona termica

Il fabbisogno annuale di energia elettrica per la sola illuminazione artificiale fissa della zona termica considerata è dato da:

$$W_{L,in,int,yr} = \sum_{m=1}^{12} W_{L,in,int,m} \quad (6.1)$$

dove:

$W_{L,in,yr}$  è il fabbisogno annuale di energia elettrica per la sola illuminazione fissa della zona termica considerata applicabile solo a destinazioni d'uso non residenziali, [kWh].

Il fabbisogno mensile di energia elettrica per la sola illuminazione artificiale fissa della zona termica considerata è dato da:

$$W_{L,in,int,m} = \sum_{i=1}^{N_a} W_{L,i,m} + \frac{G_m}{365} \cdot W_{p,yr} \quad (6.1)$$

dove:

$W_{L,i,m}$  è l'energia elettrica mensile necessaria per l'illuminazione artificiale dell'ambiente i-esimo con caratteristiche illuminotecniche omogenee, [kWh];

$W_{p,yr}$  è l'energia elettrica parassita annuale assorbita dai dispositivi di controllo e dalle batterie di ricarica dei sistemi di illuminazione di emergenza presenti nell'ambiente i-esimo con caratteristiche illuminotecniche omogenee, [kWh];

$G_m$  è il numero di giorni del mese considerato, [-];

$i$  è l'indice dell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee;

$m$  è l'indice del mese, [-];

$N_a$  è il numero di ambienti con caratteristiche illuminotecniche omogenee appartenenti alla zona termica considerata, [-].

L'energia elettrica mensile necessaria per l'illuminazione artificiale dell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee,  $W_{L,m}$ , è data da:

$$W_{L,m} = \sum_i \left( \frac{\dot{W}_n \cdot F_c \cdot [(t_D \cdot F_o \cdot F_D) + (t_N \cdot F_o)]}{1000} \right)_i \quad (6.2)$$

dove:

$W_{L,m}$  è l'energia elettrica mensile necessaria per l'illuminazione artificiale dell'ambiente i-esimo con caratteristiche illuminotecniche omogenee, [kWh];

$\dot{W}_{n,i}$  è la potenza totale installata per l'illuminazione artificiale nell'ambiente i-esimo con caratteristiche illuminotecniche omogenee, [W];

- $F_{c,i}$  è il fattore che tiene conto della presenza di sistemi di controllo per il mantenimento di valori costanti di illuminamento nell'ambiente  $i$ -esimo con caratteristiche illuminotecniche omogenee; in presenza di tali sistemi di controllo si assume  $F_c = 0,9$ , altrimenti  $F_c = 1$ ;
- $t_{D,i}$  è il tempo in cui vi è disponibilità di luce naturale, tabulato in funzione della destinazione d'uso (Prospetto 6.VII), [h];
- $F_{o,i}$  è il fattore di occupazione che lega l'utilizzo della potenza di illuminazione totale al periodo di permanenza nell'ambiente  $i$ -esimo con caratteristiche illuminotecniche omogenee, calcolato in funzione della destinazione d'uso e del sistema di controllo della luce artificiale, si veda § 6.4;
- $F_{D,i}$  è il fattore che lega l'utilizzo della potenza di illuminazione totale alla disponibilità di luce diurna nell'ambiente  $i$ -esimo con caratteristiche illuminotecniche omogenee, calcolato in funzione della destinazione d'uso e del sistema di controllo della luce artificiale, si veda § 6.3;
- $t_{N,i}$  è il tempo in cui non vi è disponibilità di luce naturale, tabulato in funzione della destinazione d'uso, (Prospetto 6.VII), [h].

L'energia elettrica parassita assorbita annualmente dai dispositivi di controllo e dalle batterie di ricarica dei sistemi di illuminazione di emergenza presenti nell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato,  $W_{p,yr}$ , è calcolata, ai fini del presente dispositivo, forfettariamente secondo la:

$$W_{p,yr} = 6 \cdot A \quad (6.3)$$

dove:

- $W_{p,yr}$  è l'energia elettrica parassita annuale assorbita dai dispositivi di controllo e dalle batterie di ricarica dei sistemi di illuminazione di emergenza presenti nell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, [kWh];
- $A$  è la superficie utile di pavimento dell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, [m<sup>2</sup>].

Ai soli fini della certificazione energetica, in assenza di dati più precisi, la potenza totale installata per l'illuminazione artificiale,  $\dot{W}_n$ , viene determinata secondo la:

$$\dot{W}_n = \dot{w}_n \cdot A \quad (6.4)$$

dove:

- $\dot{W}_n$  è la potenza totale installata per l'illuminazione artificiale nell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, [W];
- $\dot{w}_n$  è la potenza installata per unità di superficie utile, assunta pari a 25 W/m<sup>2</sup> per edifici adibiti ad ospedali, cliniche o case di cura ed assimilabili e a 20 W/m<sup>2</sup> per tutte le altre destinazioni d'uso;
- $A$  è la superficie utile di pavimento dell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, [m<sup>2</sup>].

In caso di verifica dei limiti di legge, nell'equazione (6.2) deve essere utilizzata la potenza totale,  $\dot{W}_n$ , effettivamente installata o di progetto.

### 6.3 Calcolo del fattore $F_D$

Il fattore che lega l'utilizzo della potenza di illuminazione totale alla disponibilità di luce diurna, calcolato su base mensile, è dato da:

$$F_D = 1 - (F_{D,S} \cdot F_{D,C} \cdot c_{D,S}) \quad (6.5)$$

dove:

$F_D$  è il fattore che lega l'utilizzo della potenza di illuminazione totale alla disponibilità di luce diurna nell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, calcolato in funzione della destinazione d'uso e del sistema di controllo della luce artificiale;

$F_{D,S}$  è il fattore di disponibilità di luce naturale nell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, si veda § 6.3.1;

$F_{D,C}$  è il fattore che tiene conto del sistema di controllo della luce artificiale per ottimizzare l'uso di quella naturale nell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, si veda § 6.3.2;

$c_{D,S}$  è il fattore di redistribuzione mensile, si veda § 6.3.3.

#### 6.3.1 Calcolo del fattore di disponibilità di luce naturale, $F_{D,S}$

Il fattore di disponibilità di luce naturale nell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee è calcolato secondo la:

$$F_{D,S} = a + b \cdot \phi \quad (6.6)$$

dove:

$F_{D,S}$  è il fattore di disponibilità di luce naturale nell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, si veda § 6.3.1;

a,b coefficienti adimensionali (Prospetto);

$\phi$  latitudine del sito, assunta pari a 45°.

illuminamento mantenuto	Fattore di luce diurna	a	b
Zona o ambiente a basso livello di illuminamento (inferiore ai 300 lux)	D < 1% (nullo)	0	0
	1% ≤ D < 2% (basso)	1,2425	-0,0117
	2% ≤ D < 3% (medio)	1,3097	-0,0106
	D ≥ 3% (alto)	1,2904	-0,0088
Zona o ambiente a normale livello di illuminamento (da 300 a 500 lux)	D < 1% (nullo)	0	0
	1% ≤ D < 2% (basso)	0,9432	-0,0094
	2% ≤ D < 3% (medio)	1,2425	-0,0117
	D ≥ 3% (alto)	1,322	-0,011
Zona o ambiente a alto livello di illuminamento (superiore ai 500 lux)	D < 1% (nullo)	0	0
	1% ≤ D < 2% (basso)	0,6692	-0,0067
	2% ≤ D < 3% (medio)	1,0054	-0,0098
	D ≥ 3% (alto)	1,2812	-0,0121

Prospetto 6.I – Coefficienti per la determinazione del fattore di disponibilità di luce naturale, F<sub>D,s</sub>

(Fonte: UNI EN 15193:2008; UNI EN 12464-1:2004)

Il fattore di luce diurna, D, utilizzato nel Prospetto 6.I, che tiene conto del sistema finestrato ma non della presenza di sistemi schermanti, è calcolato:

per facciate vetrate a doppia pelle:

$$D = D_c \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \tag{6.7}$$

per tutti gli altri casi:

$$D = D_c \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \tag{6.8}$$

dove:

D è il fattore di luce diurna per l'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, [%];

D<sub>c</sub> è il fattore di luce diurna per i generici vani finestra (aperture nell'involucro opaco, senza considerare la presenza di serramento e sistemi schermanti), [%];

τ<sub>D65</sub> è il fattore di trasmissione luminosa della superficie vetrata, in assenza di dati forniti dal costruttore si veda Prospetto 6.II;

- $k_1$  è un fattore che tiene conto del telaio della facciata vetrata, dato dal rapporto tra la superficie vetrata e la superficie del serramento, assunto pari a 0,7;
- $k_2$  è un fattore che tiene conto dei depositi sulla superficie vetrata, assunto pari a 0,8;
- $k_3$  è un fattore che tiene conto dell'incidenza della luce con direzione non normale alla superficie vetrata, assunto pari a 0,85.

Pertanto, per facciate vetrate a doppia pelle si ha:

$$D = 0,476 \cdot D_c \quad (6.9)$$

per tutti gli altri casi:

$$D = 0,476 \cdot D_c \cdot \tau_{D65} \quad (6.10)$$

Il fattore di luce diurna per i generici vani finestra (aperture nell'involucro opaco, senza considerare la presenza di serramenti e sistemi schermanti), caratterizzati dal medesimo indice di ostruzione, si calcola secondo la:

$$D_c = (4,13 + 20 \cdot I_T - 1,36 \cdot I_{DE}) \cdot I_o \quad (6.11)$$

dove:

- $D_c$  è il fattore di luce diurna per i generici vani finestra (aperture nell'involucro opaco, senza considerare la presenza di serramento e sistemi schermanti), [%];
- $I_T$  è l'indice di trasparenza dell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato;
- $I_{DE}$  è l'indice di profondità dell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato;
- $I_o$  è l'indice di ostruzione.

In riferimento alle definizioni riportate nella UNI EN 15193, l'indice di profondità dell'ambiente che beneficia della luce naturale,  $I_{DE}$ , è assunto pari a 2,5, per cui la (6.11) diventa:

$$D_c = (0,73 + 20 \cdot I_T) \cdot I_o \quad (6.12)$$

dove:

- $D_c$  è il fattore di luce diurna per i generici vani finestra (apertura nell'involucro opaco, senza considerare la presenza di serramento e sistemi schermanti), [%];
- $I_T$  è l'indice di trasparenza dell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato;
- $I_o$  è l'indice di ostruzione.

Per facciate vetrate a doppia pelle, sostituendo la (6.12) nella (6.9), si ha:

$$D = 0,476 \cdot (0,73 + 20 \cdot I_T) \cdot I_o \quad (6.13)$$

Per tutti gli altri casi, sostituendo la (6.12) nella (6.10), si ha:

$$D = 0,476 \cdot (0,73 + 20 \cdot I_T) \cdot I_o \cdot \tau_{D65} \quad (6.14)$$

dove:

- $D$  è il fattore di luce diurna per l'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, [%];

- $I_T$  è l'indice di trasparenza della zona considerata;
- $I_o$  è l'indice di ostruzione;
- $\tau_{D65}$  è il fattore di trasmissione luminosa della superficie vetrata, in assenza di dati forniti dal costruttore si veda Prospetto 6.II.

Tipo di vetro	$\tau_{D65}$
Vetro singolo	0,90
Vetro singolo selettivo	0,85
Doppio vetro normale	0,82
Doppio vetro con rivestimento selettivo	0,78
Triplo vetro normale	0,75
Triplo vetro con rivestimento selettivo	0,69

**Prospetto 6.II – Valori convenzionali del fattore di trasmissione luminosa,  $\tau_{D65}$**   
(Fonte: UNI EN 15193:2008)

L'indice di trasparenza dell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato,  $I_T$ , è dato da:

$$I_T = \frac{A_{w,tot}}{A} \tag{6.15}$$

dove:

- $I_T$  è l'indice di trasparenza dell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato;
- $A_{w,tot}$  è la superficie totale dei serramenti (vetro+telaio) con medesimo indice di ostruzione presenti nell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, [m<sup>2</sup>];
- $A$  è la superficie utile di pavimento dell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee considerato, [m<sup>2</sup>].

L'indice di ostruzione viene calcolato secondo la seguente espressione:

$$I_o = F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_{CA} \cdot F_{GDF} \tag{6.16}$$

dove:

- $F_h$  è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad ostruzioni esterne (Prospetto C. 1 e Prospetto C. 2);
- $F_o$  è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti orizzontali, (Prospetto C. 3 e Prospetto C. 4);
- $F_f$  è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti verticali, ((Prospetto C. 5 e Prospetto C. 6);
- $F_{CA}$  è il fattore correttivo che tiene conto di affacci prospicienti corti e atri, assunto pari a 1;
- $F_{GDF}$  è il fattore correttivo per facciate vetrate a doppia pelle, calcolato secondo la (6.17); in assenza di facciate vetrate a doppia pelle  $F_{GDF}$  è assunto pari a 1.

**NOTA:** in assenza di ostruzioni, l'indice di ostruzione,  $I_o$ , viene assunto pari a 1.

Il fattore correttivo per facciate vetrate a doppia pelle è dato da:

$$F_{GDF} = \tau_{GDF} \cdot k_{GDF,1} \cdot k_{GDF,2} \cdot k_{GDF,3} \tag{6.17}$$

dove:



$F_{GDF}$  è il fattore correttivo per facciate vetrate a doppia pelle, in assenza di facciate vetrate a doppia pelle  $F_{GDF}$  è assunto pari a 1;

$\tau_{GDF}$  è il fattore di trasmissione luminosa del vetro ad incidenza normale fornito dal costruttore;

$k_{GDF,1}$  è un fattore che tiene conto del telaio della facciata vetrata a doppia pelle, dato dal rapporto tra la superficie vetrata e la superficie del serramento, assunto pari a 0,8 in assenza di dati specifici;

$k_{GDF,2}$  è un fattore che tiene conto dei depositi sulla superfici vetrata, assunto pari a 1;

$k_{GDF,3}$  è un fattore che tiene conto dell'incidenza della luce con direzione non normale alla facciata vetrata, assunto pari a 0,85.

Per facciate vetrate a doppia pelle l'indice di ostruzione,  $I_o$ , di conseguenza, assume la seguente forma:

$$I_o = F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot 1 \cdot \tau_{GDF} \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,85 = 0,68 \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot \tau_{GDF} \quad (6.18)$$

dove:

$I_o$  è l'indice di ostruzione;

$F_h$  è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad ostruzioni esterne, (Prospetto C. 1 e Prospetto C. 2);

$F_o$  è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti orizzontali, (Prospetto C. 3 e Prospetto C. 4);

$F_f$  è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti verticali, (Prospetto C. 5 e Prospetto C. 6);

$\tau_{GDF}$  è il fattore di trasmissione luminosa del vetro ad incidenza normale fornito dal costruttore.

Per tutti gli altri casi, invece,  $I_o$  assume la seguente forma:

$$I_o = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (6.19)$$

### 6.3.2 Calcolo del fattore $F_{D,c}$

Il fattore  $F_{D,c}$ , utilizzato nell'equazione (6.5), tiene conto del sistema di controllo della luce artificiale per ottimizzare l'uso di quella naturale. Tale fattore viene determinato in funzione dell'ingresso di luce naturale nella zona considerata, cioè del fattore di luce diurna  $D$ .

Tipo di sistema di controllo	$F_{D,c}$			
	$D < 1\%$ (nullo)	$1\% \leq D < 2\%$ (basso)	$2\% \leq D < 3\%$ (medio)	$D \geq 3\%$ (alto)
Manuale	0	0,20	0,30	0,40
Automatico, con sensore di luce diurna	0	0,75	0,77	0,85

Prospetto 6.III – Valori del fattore  $F_{D,c}$  in funzione del tipo di regolazione e dell'ingresso di luce naturale  
(Fonte: UNI EN 15193:2008)

### 6.3.3 Calcolo del fattore di redistribuzione mensile $c_{D,S}$

La quantità  $(F_{D,S} \cdot F_{D,C})$  è determinata su base annuale, di conseguenza per effettuare il calcolo su base mensile è necessario introdurre il fattore di redistribuzione  $c_{D,S}$  definito al Prospetto 6.IV, in funzione del fattore di luce diurna  $D$ .

Si definisce un valore mensile,  $F^*$ , dato dalla:

$$F^* = F_{D,S} \cdot F_{D,C} \cdot c_{D,S} \quad (6.20)$$

Per ogni mese in cui si ha:

$$F_i^* \geq 1 \text{ si pone } F_i^* = 1 \quad (6.21)$$

dove:

$i$  è il pedice identificativo dei mesi in cui risulta  $F_i^* \geq 1$ .

Si procede poi alla definizione della quantità  $\hat{F}$  come:

$$\hat{F} = \sum_i (F_i^* - 1) \quad (6.22)$$

Tale quantità viene ridistribuita in maniera pesata proporzionalmente al numero di giorni dei mesi in cui risulta  $F_j^* < 1$ ; se necessario, si procede per iterazioni successive fino a completa redistribuzione delle quantità  $\hat{F}$ .

Per i mesi in cui risulta  $F^* < 1$  si ha quindi:

$$F_j^* = F^* + \hat{F} \cdot \frac{N_j}{\sum_j N_j} \quad (6.23)$$

dove:

$N_j$  è il numero di giorni del mese  $j$ -esimo in cui risulta  $F^* < 1$ ;

$j$  è il pedice identificativo dei mesi in cui risulta  $F^* < 1$ .

Ingresso di luce naturale	Fattore di redistribuzione mensile $c_{D,S}$											
	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
<b>1% ≤ D &lt; 2% (basso)</b>	0,49	0,74	1,09	1,26	1,35	1,41	1,38	1,31	1,09	0,87	0,56	0,42
<b>2% ≤ D &lt; 3% (medio)</b>	0,59	0,84	1,11	1,21	1,25	1,27	1,26	1,25	1,11	0,94	0,66	0,51
<b>D ≥ 3% (alto)</b>	0,70	0,92	1,10	1,14	1,17	1,16	1,17	1,17	1,10	0,98	0,76	0,63

Prospetto 6.IV – Valori del fattore di redistribuzione mensile  $c_{D,S}$   
(Fonte: UNI EN 15193:2008)

## 6.4 Calcolo del fattore di occupazione $F_o$

Il fattore di occupazione,  $F_o$ , lega l'utilizzo della potenza di illuminazione totale al periodo di permanenza nella zona considerata. Per i casi riportati di seguito, ad esclusione delle sale riunioni, si assume  $F_o=1$ :

- il sistema di accensione dell'impianto di illuminazione è "centralizzato", cioè l'accensione dell'impianto avviene contemporaneamente in più di una zona, indipendentemente dalla tipologia di sistema di accensione (automatico, manuale...);
- la superficie utile illuminata da un gruppo di apparecchi che vengono manualmente o automaticamente accesi contemporaneamente è superiore a 30 m<sup>2</sup>.

In tutti gli altri casi e per le sale riunioni si assumono valori di  $F_o < 1$ , calcolati in funzione del fattore di assenza  $F_A$ , come segue:

$$\text{se } 0 \leq F_A < 0,2 \quad \text{allora } F_o = 1 - \left[ \frac{(1 - F_{oc}) \cdot F_A}{0,2} \right] \quad (6.24)$$

$$\text{se } 0,2 \leq F_A < 0,9 \quad \text{allora } F_o = F_{oc} + 0,2 - F_A \quad (6.25)$$

$$\text{se } 0,9 \leq F_A \leq 1,0 \quad \text{allora } F_o = [7 - (10 \cdot F_{oc})] \cdot (F_A - 1) \quad (6.26)$$

dove:

$F_{oc}$  è il fattore che dipende dalla tipologia di sistema di controllo dell'illuminazione in funzione dell'occupazione degli ambienti con caratteristiche illuminotecniche omogenee, (Prospetto 6.V);

$F_A$  è il fattore che fornisce la percentuale di tempo in cui la zona non è occupata e dipende dalla destinazione d'uso della zona considerata, (Prospetto 6.VI).

Sistemi senza sensori di presenza	$F_{oc}$
Manuale ON/OFF	1,00
Manuale ON/OFF + sistema automatico di spegnimento notturno	0,95
Sistemi con sensori di presenza	$F_{oc}$
Auto ON/Variatore di luce	0,95
Auto ON/Auto OFF	0,90
Manuale ON/Variatore di luce	0,90
Manuale ON/Auto OFF	0,80

Prospetto 6.V – Valori del fattore  $F_{oc}$   
(Fonte: UNI EN 15193:2008)

Categoria dell'edificio e destinazione d'uso	Tipologia di ambiente	Fattore FA
E.1(3) – Edifici adibiti ad albergo, pensioni e attività similari	Ingressi, receptions, spazi comuni, bar e assimilabili	0,0
	Corridoi e assimilabili	0,4
	Sale conferenza, sale riunioni e assimilabili	0,5
	Stanze	0,6
	Servizi igienici, magazzini e assimilabili	0,9
E.2 – Edifici adibiti ad uffici e assimilabili	Ingressi, receptions	0,0
	Uffici open-space	0,0
	Uffici singoli	0,1
	Corridoi e assimilabili	0,4
	Sale conferenza, sale riunioni, rest-room e assimilabili	0,5
	Servizi igienici, magazzini e assimilabili	0,9
E.3 – Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	Stanze, corridoi, sale d'aspetto, spazi aperti al pubblico e assimilabili, sale per esami clinici, sale operatorie	0,0
	Laboratori	0,2
	Magazzini e assimilabili	0,9
E.4.(1) – Cinema e teatri, sale di riunioni per congressi	Sale, aree aperte al pubblico	0,0
E.4.(2) – Luoghi di culto, mostre, musei e biblioteche	Magazzini e assimilabili	0,2
	Servizi igienici	0,9
E.4.(3) – Bar, ristoranti, sale da ballo		
E.5 – Edifici adibiti ad attività commerciali ed assimilabili	Aree vendite, aree aperte al pubblico	0,0
	Magazzini e assimilabili	0,2
	Servizi igienici	0,9
E.6.(1) – Piscine, saune e assimilabili	Aree dove si svolgono le attività sportive/ricreative, aree aperte al pubblico, spogliatoi e locali docce	0,0
E.6.(2) – Palestre e assimilabili	Magazzini e assimilabili	0,2
E.6.(3) – Servizi a supporto alle attività sportive	Servizi igienici	0,9
E.7 – Edifici adibiti ad attività scolastiche di tutti i livelli e assimilabili	Aule e uffici scolastici	0,0
	Corridoi e assimilabili	0,4
	Sale per insegnanti, laboratori, aule didattiche non regolarmente occupate	0,5
	Servizi igienici	0,9
E.8 – Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili	Aree produttive/spazi lavorativi	0,0
	Magazzini e assimilabili	0,2
	Rest-room e assimilabili	0,5
	Servizi igienici	0,9

**Prospetto 6.VI – Valori del fattore FA  
(Fonte: UNI EN 15193:2008)**

Cat. Edifici	Destinazione d'uso	Gen		Feb		Mar		Apr		Mag		Giu		Lug		Ago		Set		Ott		Nov		Dic	
		t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>n</sub>
E.1 (1)	Collegi, conventi, case di pena, caserme	255	170	230	153	255	170	247	164	255	170	247	164	255	170	255	170	247	164	255	170	247	164	255	170
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensioni ed attività similari	255	170	230	153	255	170	247	164	255	170	247	164	255	170	255	170	247	164	255	170	247	164	255	170
E.2	Edifici adibiti ad uffici ed assimilabili	191	21	173	19	191	21	185	21	191	21	185	21	191	21	191	21	185	21	191	21	185	21	191	21
E.3	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche o case di cura ed assimilabili	255	170	230	153	255	170	247	164	255	170	247	164	255	170	255	170	247	164	255	170	247	164	255	170
E.4 (1)	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	106	106	96	96	106	106	103	103	106	106	103	103	106	106	106	106	103	103	106	106	103	103	106	106
E.4 (2)	Luoghi di culto, mostre, musei e biblioteche	106	21	96	19	106	21	103	21	106	21	103	21	106	21	106	21	106	21	106	21	103	21	106	21
E.4 (3)	Bar, ristoranti, sale da ballo	106	106	96	96	106	106	103	103	106	106	103	103	106	106	106	106	103	103	106	106	103	103	106	106
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali ed assimilabili	255	170	230	153	255	170	247	164	255	170	247	164	255	170	255	170	247	164	255	170	247	164	255	170
E.6 (1)	Piscine, saune ed assimilabili	170	170	153	153	170	170	164	164	170	170	164	164	170	170	170	170	164	164	170	170	164	164	170	170
E.6 (2)	Palestre ed assimilabili	170	170	153	153	170	170	164	164	170	170	164	164	170	170	170	170	164	164	170	170	164	164	170	170
E.6 (3)	Servizi di supporto alle attività sportive	170	170	153	153	170	170	164	164	170	170	164	164	170	170	170	170	164	164	170	170	164	164	170	170
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche di tutti i livelli e assimilabili	153	17	138	15,3	153	17	148	16,4	153	17	148	16,4	153	17	153	17	148	16,4	153	17	148	16,4	153	17
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali ed assimilabili	212	127	192	115	212	127	205	123	212	127	205	123	212	127	212	127	205	123	212	127	205	123	212	127

Prospetto 6.VII – Numero di ore al mese in cui vi è disponibilità di luce naturale, t<sub>0</sub>, e in cui non vi è disponibilità di luce naturale, t<sub>n</sub>  
(Fonte: Ricavato in riferimento alla UNI EN 15193:2008)

## 6.5 Fabbisogno annuale di energia elettrica per illuminazione artificiale esterna

Per il calcolo del fabbisogno di energia elettrica delle zone esterne all'edificio occorre conoscere le potenza degli apparecchi luminosi installati. Tale fabbisogno si calcola come:

$$W_{L,in,est,yr} = \sum_{i=1}^{N_{ap}} W_{ill,est,i} \cdot \Delta t_{N,on,est} \quad (6.27)$$

dove:

$W_{ill,est,i}$  è la potenza elettrica dell'*i*-esimo apparecchio installato all'esterno dell'edificio, [W];

$\Delta t_{N,on,est}$  è tempo di accensione dell'illuminazione esterna durante la notte nel periodo di calcolo [kh].

Ai fini del presente dispositivo, in assenza di informazioni specifiche, si assume un intervallo di tempo di accensione dell'illuminazione esterna durante la notte pari a 4200 ore/anno e una riduzione del 50% di tale valore in caso di presenza di sistemi automatici di riduzione del flusso luminoso. Ai fini del calcolo del fabbisogno energetico per illuminazione di una unità immobiliare, nel caso in cui le zone esterne illuminate siano condivise da più unità immobiliari, il fabbisogno di energia elettrica delle zone esterne è ripartito proporzionalmente alla superficie utile delle unità immobiliari.

Il valore mensile del fabbisogno di energia elettrica delle zone esterne all'edificio si ottiene come:

$$W_{L,in,est,m} = W_{L,in,est,yr} \cdot G_m / 365 \quad (6.28)$$

dove:

$G_m$  è il numero di giorni del mese considerato, [-];

$m$  è l'indice del mese, [-].

## 7 Fabbisogno di energia termica ed elettrica del servizio acqua calda sanitaria

Un servizio acqua calda sanitaria è realizzabile con modalità impiantistiche diverse, che pure assolvono alla medesima funzione: produrre e distribuire alle utenze acqua calda sanitaria.

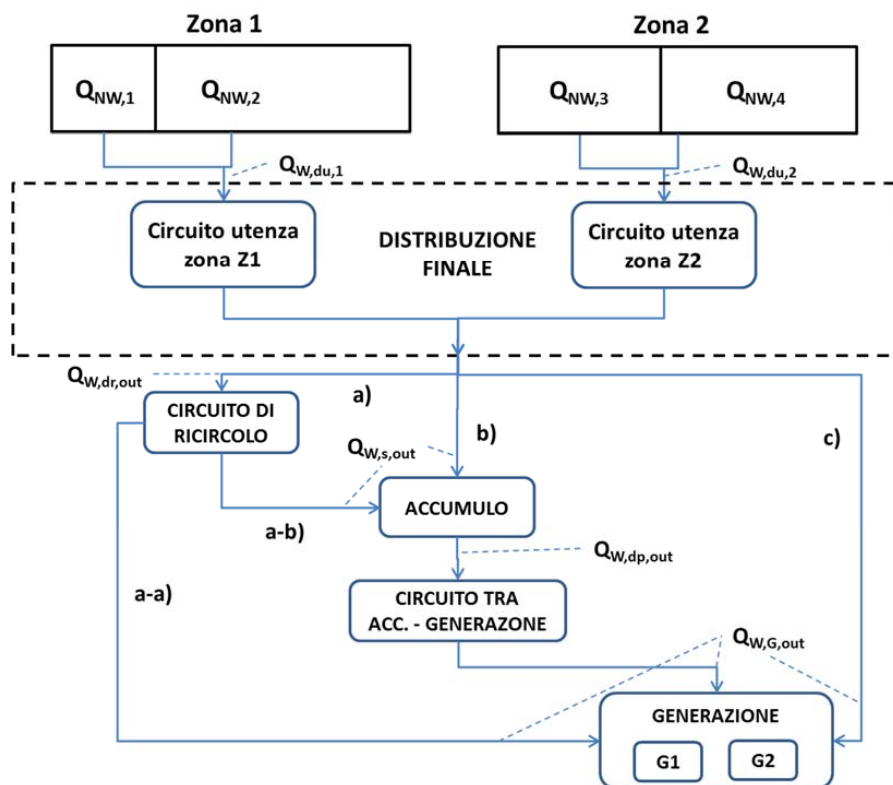


Figura 7.1 – Schema possibili combinazioni sottosistemi del servizio acqua calda sanitaria

Con riferimento alla Figura 7.1, il sistema impiantistico che serve le utenze finali consta sempre di una distribuzione finale alle utenze, ma può poi diversificarsi nei seguenti modi:

- a) collegamento della distribuzione finale alle utenze con un anello di ricircolo:
  - a-a) anello di ricircolo direttamente collegato al sottosistema di generazione;
  - a-b) anello di ricircolo collegato al sottosistema di accumulo;
- b) collegamento della distribuzione finale alle utenze con un accumulo termico non inserito nel generatore (sottosistema di accumulo), che è sempre collegato al sottosistema di generazione tramite il sottosistema distribuzione generazione/accumulo;

c) collegamento della distribuzione finale alle utenze direttamente con il sottosistema di generazione.

Il generico sistema impiantistico viene quindi suddiviso in sottosistemi funzionali che sono identificati come:

- a) sottosistema di erogazione;
- b) sottosistema di distribuzione;
- c) sottosistema di accumulo termico;
- d) sottosistema di distribuzione tra sottosistema di accumulo e di generazione;
- e) sottosistema di generazione.

Si ha un unico sistema impiantistico per un servizio acqua calda sanitaria quando una o una pluralità di utenze vengono servite, tramite una composizione anche plurima di sottosistemi di erogazione, distribuzione alle utenze e ricircolo, accumulo e distribuzione tra accumulo e generazione, da un unico sistema di generazione di energia termica.

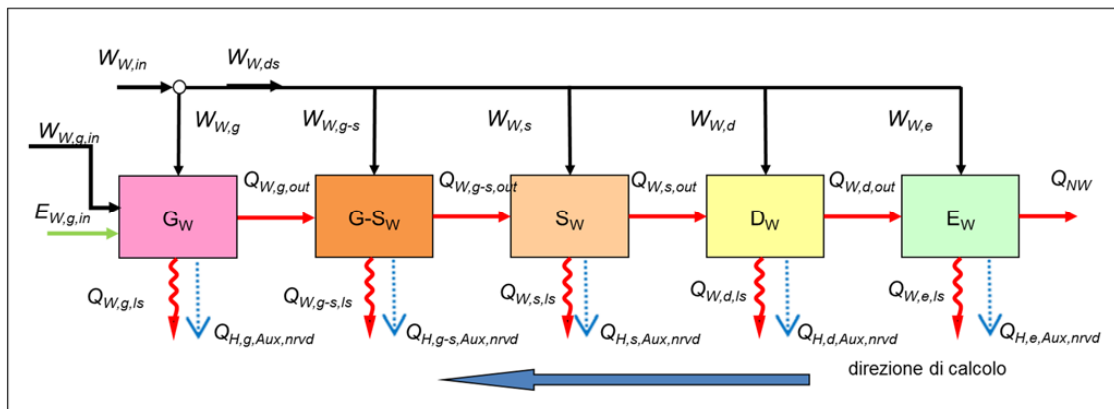


Figura 7.2 – Schema a blocchi di sistema impiantistico per la produzione di acqua calda sanitaria semplice: tutti i blocchi funzionali indicanti i sottosistemi sono disposti in serie.

Con riferimento alla Figura 7.2, il fabbisogno termico lordo,  $Q_{W,g,out}$ , rappresenta l'energia termica richiesta al sistema di generazione dal sistema impiantistico considerato. Per determinarlo si parte da ognuna delle utenze che richiedono acqua calda sanitaria, cioè dal loro fabbisogno termico nominale di acqua calda sanitaria,  $Q_{NW,i}$ , aggiungendovi le perdite dei sottosistemi di erogazione, distribuzione, accumulo e distribuzione tra accumulo e generazione al netto degli eventuali recuperi interni dell'energia elettrica utilizzata dagli ausiliari.



Il fabbisogno lordo di energia elettrica da parte degli ausiliari,  $W_{w,ds}$ , rappresenta l'energia elettrica assorbita dagli ausiliari presenti nel sistema impiantistico considerato, escluso quelli del sistema di generazione.

### 7.1 Fabbisogno termico lordo di energia per la produzione di acqua calda ad usi sanitari

Premesso che un sistema per la produzione di acqua calda sanitaria può essere servito da più generatori di energia termica, il fabbisogno termico lordo annuo complessivo per la produzione di acqua calda sanitaria si determina come:

$$Q_{W,g,out} = \sum_{m=1}^{12} Q_{W,g,out, m} \quad (7.1)$$

dove:

$Q_{W,g,out,m}$  è la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per la produzione di acqua calda sanitaria, [kWh];

$m$  numero del mese.

Il fabbisogno termico lordo mensile complessivo, ovvero la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per la produzione di acqua calda sanitaria, si calcola distintamente per ogni  $i$ -esima utenza di acqua calda sanitaria presente nell'edificio e si somma sulle utenze ottenendo:

$$Q_{W,g,out, m} = \sum_{i=1}^{N_u} Q_{W,g,out, m, i} \quad (7.2)$$

dove:

$Q_{W,g,out,m,i}$  è la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per la produzione di acqua calda sanitaria da parte dell' $i$ -esima utenza, [kWh];

$N_u$  numero di utenze presenti.

La richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per la produzione di acqua calda sanitaria da parte dell'utenza  $i$ -esima,  $Q_{W,g,out,m,i}$ , si determina calcolando le perdite relative ai sottosistemi di erogazione, distribuzione, accumulo e distribuzione tra accumulo e generazione specifiche alle parti del sistema impiantistico che la serve e gli eventuali recuperi interni dell'energia elettrica utilizzata dai relativi ausiliari.

In generale si ha:

$$Q_{W,g,out, i, m} = Q_{NW,i,m} + \sum_{k=1}^{N_i} (Q_{W,k,ls} - k_{w,k} \cdot W_{w,k})_{i,m} + \frac{Q_{NW,i,m}}{\sum_{j=1}^{N_{uc}} Q_{NW,j,m}} \cdot \sum_{j=1}^{M_i} (Q_{W,j,ls} - k_{w,j} \cdot W_{w,j})_{i,m} \quad (7.3)$$

dove:

- $Q_{NW,i,m}$  è il fabbisogno nominale di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria della i-esima utenza nel mese m, [kWh];
- $Q_{W,k,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema k-esimo, [kWh];
- $k_{W,k}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di k-esimo;
- $W_{W,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema k-esimo, [kWh];
- $N_i$  è il numero di sottosistemi che sono interessati esclusivamente dalla richiesta dell'utenza i-esima;
- $N_{uc}$  è il numero di utenze che utilizzano lo stesso o parte dello stesso sistema impiantistico (ad esempio parte della distribuzione e il sistema di accumulo);
- $M_i$  è il numero di sottosistemi che sono contemporaneamente interessati dalla richiesta delle  $N_{uc}$  utenze.

Se il sistema è dedicato a un'unica utenza, la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione è data da (7.3) :

$$Q_{W,g,out,m} = \left[ Q_{NW} + Q_{W,e,ls} - k_{W,e} \cdot W_{W,e} + Q_{W,d,ls} - k_{W,d} \cdot W_{W,d} + Q_{W,s,ls} - k_{W,s} \cdot W_{W,s} + \sum_{j=1}^{NG} (Q_{W,g-s,ls} - k_{W,g-s} \cdot W_{W,g-s})_j \right]_m \quad (7.4)$$

dove:

- $Q_{NW}$  è il fabbisogno nominale di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria, [kWh];
- $Q_{W,e,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di erogazione, [kWh];
- $k_{W,e}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di erogazione, il cui valore si determina come indicato al paragrafo 7.3;
- $W_{W,e}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di erogazione, [kWh];
- $Q_{W,d,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di distribuzione, [kWh];
- $k_{W,d}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di distribuzione, il cui valore si determina come indicato al paragrafo 7.4;
- $W_{W,d}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione, [kWh];
- $Q_{W,s,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo, [kWh];
- $k_{W,s}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di accumulo, il cui valore si determina come indicato al paragrafo 7.5;
- $W_{W,s}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di accumulo, [kWh];
- $Q_{W,g-s,ls}$  è la perdita termica di processo della distribuzione tra il sottosistema di accumulo e generatore termico, [kWh];
- $k_{W,g-s}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di distribuzione tra accumulo e generatore termico, il cui valore si determina come indicato al paragrafo 7.6;

- $W_{w,g-s}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione tra accumulo e generatore termico, [kWh];
- $j$  indice del circuito di distribuzione tra accumulo e generatore termico;
- $N_g$  numero di circuiti tra accumulo e generatori;
- $m$  indice del mese.

## 7.2 Fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari per la produzione di acqua calda ad usi sanitari

Il fabbisogno annuo lordo di energia elettrica da parte degli ausiliari dei sottosistemi di erogazione, distribuzione, accumulo e distribuzione tra accumulo e generazione per la produzione di acqua calda sanitaria si determina come:

$$W_{w,ds} = \sum_{m=1}^{12} W_{w,ds,m} \quad (7.5)$$

dove:

- $W_{w,ds,m}$  è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari per la produzione di acqua calda sanitaria (con esclusione di quelli relativi al sottosistema di generazione) alla centrale elettrica, [kWh];
- $m$  numero del mese.

Il fabbisogno mensile lordo di energia elettrica da parte degli ausiliari, ovvero la richiesta mensile di energia elettrica alla centrale elettrica per la produzione di acqua calda sanitaria, con esclusione di quella richiesta dagli ausiliari del sottosistema di generazione, si calcola distintamente per ogni  $i$ -esima utenza di acqua calda sanitaria presente nell'edificio, sempre come:

$$W_{w,ds,m} = \sum_{i=1}^{N_u} W_{w,ds,m,i} \quad (7.6)$$

dove:

- $W_{w,ds,m,i}$  è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari per la produzione di acqua calda sanitaria alla centrale elettrica da parte dell' $i$ -esima utenza, [kWh];
- $N_u$  numero di utenze presenti.

La richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari per la produzione di acqua calda sanitaria alla centrale elettrica da parte dell' $i$ -esima utenza,  $W_{w,ds,i}$ , con esclusione di quella richiesta dagli ausiliari del sottosistema di generazione, si determina calcolando le richieste relative ai sottosistemi di erogazione, distribuzione, accumulo e distribuzione tra accumulo e generazione specifiche al sistema impiantistico che la serve.

In generale si ha:

$$W_{W,ds, i, m} = \sum_{k=1}^{N_i} (W_{W,k})_{i,m} + \frac{Q_{NW,i,m}}{\sum_{j=1}^{N_{uc}} Q_{NW,j,m}} \cdot \left[ \sum_{j=1}^{M_i} (W_{W,j})_{i,m} + W_{W,a,i,m} \right] \quad (7.7)$$

dove:

- $W_{W,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema k-esimo, [kWh];
- $Q_{NW,i,m}$  è il fabbisogno nominale di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria del servizio i-esimo nel mese m, [kWh];
- $W_{W,a}$  è il fabbisogno di energia elettrica dell'autoclave (se presente), [kWh];
- $N_i$  è il numero di sottosistemi che sono interessati esclusivamente dalla richiesta dell'utenza i-esima;
- $N_{uc}$  è il numero di utenze che utilizzano lo stesso o parte dello stesso sistema impiantistico (ad esempio parte della distribuzione e il sistema di accumulo);
- $M_i$  è il numero di sottosistemi che sono contemporaneamente interessati dalla richiesta delle  $N_{uc}$  utenze.

Se il sistema è dedicato a un'unica utenza, la richiesta mensile di energia elettrica alla centrale elettrica è data da:

$$W_{W,ds, i, m} = (W_{W,e} + W_{W,d} + W_{W,s} + W_{W,G-S} + W_{W,a})_{i,m} \quad (7.8)$$

dove:

- $W_{W,e}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di erogazione, [kWh];
- $W_{W,d}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione, [kWh];
- $W_{W,s}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di accumulo, [kWh];
- $W_{W,G-S}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema distribuzione tra accumulo e generazione, [kWh];
- $W_{W,a}$  è il fabbisogno di energia elettrica dell'autoclave (se presente), [kWh];
- $i$  indice del servizio acqua calda sanitaria;
- $m$  indice del mese.

### 7.3 Bilancio energetico mensile del sottosistema di erogazione

Le perdite termiche di processo del sistema di erogazione dell'acqua calda sanitaria, dovute ad una temperatura di miscelazione all'erogatore maggiore di quella assunta convenzionalmente nel calcolo perché si abbia all'utenza la temperatura desiderata (ad esempio raffreddamento del flusso d'acqua per miscelamento con aria), si calcolano tramite la

$$Q_{W,e,ls} = \left( \frac{1}{\eta_{eW}} - 1 \right) \cdot Q_{NW} \quad (7.9)$$

dove:

$Q_{W,e,ls}$  è la perdita termica di processo del sistema di erogazione, [kWh];

$Q_{NW}$  è il fabbisogno nominale di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria, [kWh];

$\eta_{ew}$  è il rendimento del sistema di erogazione che ai fini del presente dispositivo viene sempre assunto pari a 1, [-].

**NOTA:** Le perdite energetiche dovute a una maggiore quantità d'acqua utilizzata per avere all'erogatore la temperatura prefissata sono incluse nelle perdite del sistema di distribuzione.

Il fabbisogno di energia elettrica del sistema di erogazione,  $W_{w,e}$ , è legato ad erogatori e/o riscaldatori istantanei di acqua calda alimentati elettricamente ed è dato, se presenti, dal rapporto tra l'energia termica nominale richiesta e il rendimento elettrico di conversione, secondo la relazione:

$$W_{w,e} = Q_{NW} / \eta_{ew,el} \quad (7.10)$$

$W_{w,e}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sistema di erogazione, [kWh];

$Q_{NW}$  è il fabbisogno nominale di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria, [kWh];

$\eta_{ew,el}$  è il rendimento elettrico del sistema di erogazione che ai fini del presente dispositivo viene sempre assunto pari a 1, [-].

L'energia termica complessivamente dispersa dal sottosistema di erogazione è data da:

$$Q_{w,e,L} = Q_{w,e,ls} + (1 - k_{w,e}) \cdot W_{w,e} \quad (7.11)$$

dove:

$Q_{w,e,L}$  è l'energia termica dispersa complessivamente dal sottosistema di erogazione, [kWh];

$Q_{w,e,ls}$  è la perdita termica di processo del sistema di erogazione, [kWh];

$k_{w,e}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di erogazione; si assume normalmente pari a 0, salvo il caso in cui tali ausiliari siano erogatori e/o riscaldatori istantanei di acqua calda alimentati elettricamente, per i quali si assume pari a 1;

$W_{w,e}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sistema di erogazione, [kWh].

Le perdite complessive, così calcolate, si considerano tutte non recuperabili ai fini del calcolo del fabbisogno termico netto dell'edificio, cioè:

$$Q_{z,rvd,e} = f_{R,W,e} \cdot Q_{w,e,L} \quad (7.12)$$

dove:

$Q_{z,rvd,e}$  è la quota parte delle perdite termiche del sottosistema di erogazione recuperata nella zona termica considerata, [kWh];

$f_{R,W,e}$  è il fattore di recupero del sottosistema di erogazione, assunto pari a 0;

$Q_{w,e,L}$  è l'energia termica dispersa complessivamente dal sottosistema di erogazione, [kWh].

## 7.4 Bilancio energetico mensile del sottosistema di distribuzione

Il sottosistema di distribuzione è, ai fini della presente procedura, costituito da due possibili circuiti idraulici: la distribuzione all'utenza e, se presente, il circuito di ricircolo (vedasi Figura 7.1).

L'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione è data da:

$$Q_{W,d,out} = Q_{NW} + Q_{W,e,ls} - k_{W,e} \cdot W_{W,e} \quad (7.13)$$

dove:

$Q_{W,d,out}$  è l'energia termica richiesta al sistema di distribuzione, [kWh];

$Q_{NW}$  è il fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria, [kWh];

$Q_{W,e,ls}$  è la perdita termica di processo del sistema di erogazione, [kWh];

$k_{W,e}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di erogazione;

$W_{W,e}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sistema di erogazione, [kWh].

Il fabbisogno di energia elettrica del sistema di distribuzione,  $W_{W,d}$ , è legato alla presenza di un circuito di ricircolo, nel qual caso vi è una pompa alimentata elettricamente ; tale fabbisogno è dato quindi da:

$$W_{W,d} = W_{W,dr} \quad (7.14)$$

L'energia termica complessivamente dispersa dal sottosistema di distribuzione viene calcolata secondo la:

$$Q_{W,d,L} = Q_{W,du,L} + Q_{W,dr,L} \quad (7.15)$$

dove le componenti sono:

$Q_{W,du,L}$  è l'energia termica dispersa complessivamente dalla distribuzione finale all'utenza, [kWh];

$Q_{W,dr,L}$  è l'energia termica dispersa complessivamente dal circuito di ricircolo, [kWh];

con:

$$\begin{aligned} Q_{W,du,L} &= Q_{W,du,ls} \\ Q_{W,dr,L} &= Q_{W,dr,ls} + (1 - k_{W,dr}) \cdot W_{W,dr} \end{aligned} \quad (7.16)$$

dove:

$Q_{W,dx,L}$  è l'energia termica dispersa complessivamente dalla componente x del sottosistema di distribuzione, [kWh];

$Q_{W,dx,ls}$  è la perdita termica complessiva di processo della componente x del sottosistema di distribuzione, [kWh];

$k_{W,dr}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del circuito di ricircolo , assunta pari a 0,85;

$W_{W,dr}$  è il fabbisogno di energia elettrica dagli ausiliari del circuito di ricircolo, [kWh];

Le perdite recuperate, ai fini del calcolo del fabbisogno termico netto dell'edificio, sono date in generale dalla somma delle perdite recuperate nei vari tratti da cui è costituito il sistema di distribuzione con l'esclusione del circuito (G-S) (distribuzione all'utenza, ricircolo, vedasi Figura 7.1):

$$Q_{Z,rvd,d} = Q_{Z,rvd,du} + Q_{Z,rvd,dr} \quad (7.17)$$

dove:

$Q_{Z,rvd,d}$  è la quota parte delle perdite termiche del sottosistema di distribuzione recuperata ai fini della climatizzazione dalla zona termica considerata, [kWh];

$Q_{Z,rvd,du}$  è la quota parte delle perdite termiche del sottosistema di distribuzione alle utenze recuperata ai fini della climatizzazione dalla zona termica considerata, [kWh];

$Q_{Z,rvd,dr}$  è la quota parte delle perdite termiche del sottosistema di distribuzione di ricircolo recuperata ai fini della climatizzazione dalla zona termica considerata, [kWh].

Ai soli fini della certificazione energetica e limitatamente al caso di singole unità immobiliari con sistema di generazione dedicato (assenza di anello di ricircolo e di circuito G-S), il calcolo delle perdite del sottosistema di distribuzione può essere fatto forfaitariamente tramite la:

$$Q_{W,d,L} = Q_{W,d,out} \cdot f_{i,w,d} \quad (7.18)$$

dove:

$Q_{W,d,L}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di distribuzione, [kWh];

$Q_{W,d,out}$  è l'energia termica richiesta al sistema di distribuzione, definita dall'equazione (7.13), [kWh];

$f_{i,w,d}$  è il coefficiente di perdita, desunto dal Prospetto 7..

Le perdite del sistema di distribuzione, così calcolate, si considerano in parte recuperabili ai fini del calcolo del fabbisogno termico netto dell'edificio, e tale quota si calcola come:

$$Q_{Z,rvd,d} = f_{R,W,d} \cdot Q_{W,d,L} \quad (7.19)$$

dove:

$Q_{Z,rvd,d}$  è la quota parte delle perdite termiche del sottosistema di distribuzione recuperata nella zona termica considerata, [kWh];

$f_{R,W,d}$  è il fattore di recupero del sottosistema di erogazione, desunto dal Prospetto 7.;

$Q_{W,e,L}$  è l'energia termica dispersa complessivamente dal sottosistema di distribuzione, [kWh].

Tipologia del sistema	Coefficiente di perdita $f_{i,w,d}$	Coefficiente di recupero $f_{R,W,d}$
Sistemi installati prima dell'entrata in vigore della legge 373/76	0,12	0,5
Sistemi installati dopo l'entrata in vigore della legge 373/76 con rete di distribuzione corrente solo parzialmente in ambiente climatizzato	0,08	0,5
Sistemi installati dopo l'entrata in vigore della legge 373/76 con rete di distribuzione corrente totalmente in ambiente climatizzato	0,08	0,9

Prospetto 7.1 – Perdite e recuperi del sottosistema di distribuzione  $f_{i,w,d}$ ,  $f_{R,DHW,d}$   
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

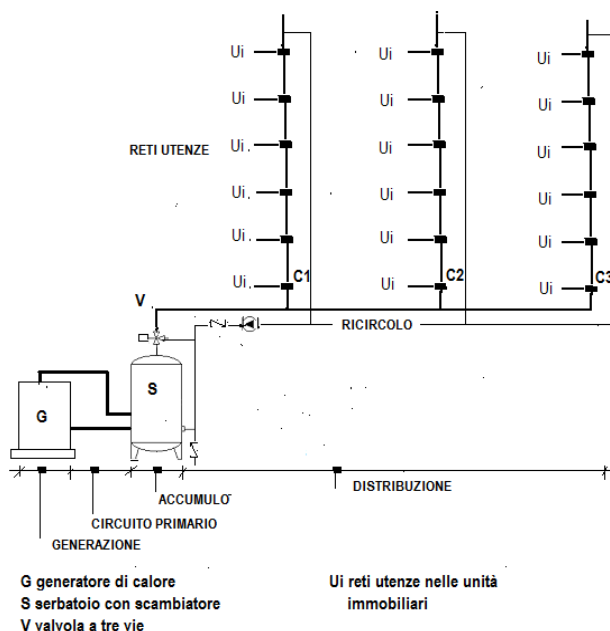


Figura 7.3 – Schema rete di distribuzione  
(Fonte: UNI TS-11300-2:2014)

#### 7.4.1 Temperature nominali dell'acqua calda sanitaria nelle tubazioni di distribuzione

Nel caso più generale la distribuzione di acqua calda sanitaria, come rappresentato nella Figura 7.3 comprende:

- la distribuzione alle utenze;
- un anello di ricircolo;
- il circuito di collegamento tra generatore e serbatoio di accumulo.

Le temperature nominali dell'acqua calda sanitaria presente nelle tubazioni della distribuzione, ai fini del calcolo delle perdite del sistema di distribuzione, sono assunte pari a quelle riportate nel Prospetto 7.II.

Tipologia di rete	Temperatura acqua [°C]
Rete di distribuzione alle utenze	48
Rete di ricircolo	48
Rete tra serbatoio di accumulo e generatore	70
NOTA: per una temperatura nominale di erogazione di 40 °C	

Prospetto 7.II – Temperatura media dell'acqua nella rete di distribuzione dell'acqua calda sanitaria  
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

#### 7.4.2 Rete di distribuzione finale alle utenze

Le perdite della rete di distribuzione alle utenze si calcolano come la somma delle perdite dei tratti costituenti tale rete tramite la:



$$Q_{W,du,ls} = \sum_{i=1}^{N_u} Q_{W,du,ls,i} \quad (7.20)$$

dove:

$N_u$  è il numero di tratti in cui si suddivide la rete di distribuzione alle utenze, in funzione degli ambienti o zone termiche attraversate, [-];

$Q_{W,du,ls,i}$  sono le perdite di energia termica dell' $i$ -esimo tratto di tubazione facente parte della rete di distribuzione dell'acqua calda sanitaria alle utenze calcolate secondo la seguente formula:

$$Q_{W,du,ls,i} = L_i \cdot \pi \cdot \left( \frac{d_{int,i}}{2} \right)^2 \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_w - \theta_{a,i}) \cdot n_{w,du} \cdot N \quad (7.21)$$

dove:

$L_i$  è la lunghezza dell' $i$ -esimo tratto di tubazione, [m];

$d_{int,i}$  è il diametro interno dell' $i$ -esimo tratto di tubazione, [m];

$\rho_w \cdot c_w$  è la capacità termica volumica dell'acqua, pari a 4 168 600 J/(m<sup>3</sup>K) a 20 °C;

$\theta_{w,avg}$  è la temperatura media dell'acqua calda sanitaria nella rete di distribuzione, [°C], che si desume dal Prospetto 7.II;

$\theta_{a,i}$  è la temperatura dell'ambiente esterno all' $i$ -esimo tratto di tubazione, determinata secondo il Prospetto J.I;

$n_{w,du}$  è il numero di cicli di utilizzo giornalieri, assunto convenzionalmente pari a 3 ;

$N$  è il numero di giorni del mese considerato, [-].

Ai soli fini della certificazione energetica con anello di ricircolo, in assenza di dati più precisi e dettagliati, per il calcolo delle perdite della distribuzione finale all'utenza si può utilizzare un'unica tubazione, con diametro interno medio  $d_{int,ave}$ , di lunghezza equivalente,  $L_{SL}$ , come definita al paragrafo 7.4.3 in funzione delle dimensioni caratteristiche dell'edificio.

Le perdite termiche recuperabili e recuperate sono calcolate secondo quanto specificato nell'Appendice J, equazione (J.3), per cui la quota recuperata è pari a:

$$Q_{Z,RL,du} = Q_{d,ls,rvd} \quad (7.22)$$

### 7.4.3 Rete di ricircolo

Qualora sia presente una rete di ricircolo, il calcolo delle perdite del circuito di ricircolo deve essere fatto in maniera dettagliata, secondo quanto riportato nell'Appendice J.

Le perdite totali del circuito di ricircolo del sottosistema di distribuzione sono quindi date da:

$$Q_{W,drjs} = Q_{d,js} \quad (7.23)$$

dove:

$Q_{w,dr,ls}$  è la perdita termica di processo del circuito di ricircolo del sottosistema di distribuzione, [kWh];  
 $Q_{d,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di tubazioni costituenti la distribuzione di ricircolo calcolata secondo la (J.1), [kWh];

Ai soli fini della certificazione energetica e in assenza di informazioni più dettagliate e specifiche, la perdita termica del circuito di ricircolo del sottosistema di distribuzione può essere calcolata come somma delle perdite dei tratti di rete di lunghezza  $L_v$  e  $L_s$ , che appartengono all'anello di ricircolo (si veda Figura 7.4 ), attribuendo alle varie lunghezze dei valori convenzionali in funzione delle dimensioni dell'edificio, oltre che valori convenzionali delle dispersioni specifiche. Le perdite termiche del sottosistema di distribuzione di ricircolo sono quindi calcolate come:

$$Q_{w,dr,ls} = [(L_v + L_s) \cdot \phi_r] \cdot \Delta t \quad (7.24)$$

dove:

- $Q_{w,d,ls}$  è la perdita termica di processo del circuito di ricircolo del sottosistema di distribuzione, [kWh];
- $L_v$  è la lunghezza dei tratti della rete di ricircolo che possono essere situati in ambienti non riscaldati, in solai interpiano o nelle pareti dell'edificio e che collegano il generatore con le colonne montanti del sottosistema di distribuzione, [m];
- $L_s$  è la lunghezza dei tratti orizzontali e/o verticali della rete di ricircolo situati nelle pareti dell'edificio e che costituiscono le colonne montanti del sottosistema di distribuzione, [m];
- $\phi_r$  è il flusso termico specifico disperso dai tratti del sottosistema di distribuzione che appartengono alla rete di ricircolo, assunto pari a 40 W/m;
- $\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

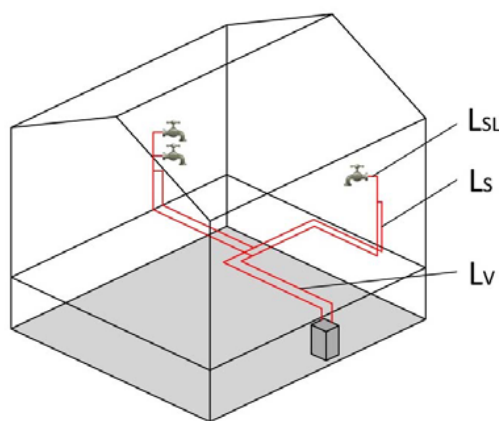


Figura 7.4 – Schema rete di distribuzione con ricircolo  
 (Fonte: UNI EN 15316-3-2:2008)

Lunghezza dei tratti della rete di distribuzione con anello di ricircolo		
$L_V$	$L_S$	$L_{SL}$
$2 \cdot L_B + 0,0125 \cdot L_B \cdot B_B$	$0,075 \cdot L_B \cdot B_B \cdot n_f \cdot h_f$	$0,075 \cdot L_B \cdot B_B \cdot n_f$

**Prospetto 7.III – Valori convenzionali della lunghezza dei tratti della rete di distribuzione con anello di ricircolo,  $L_V$ ,  $L_S$ ,  $L_{SL}$ . Valori basati su un'area utile media di 80 m<sup>2</sup> e una lunghezza media della tubazione di 6 m. (Fonte: UNI EN 15316-3-2:2008)**

dove:

- $L_B$  è la larghezza maggiore dell'edificio, [m];  
 $B_B$  è la profondità maggiore dell'edificio, [m];  
 $n_f$  è il numero di piani serviti dalla rete di distribuzione;  
 $h_f$  è l'altezza interpiano, [m].

Il fabbisogno di energia elettrica del circuito di ricircolo del sottosistema di distribuzione,  $W_{W,dr}$ , è dato dal prodotto tra la potenza complessiva degli ausiliari e il tempo di funzionamento del ricircolo, secondo la relazione:

$$W_{W,dr} = \sum_i \dot{W}_{W,dr,i} \cdot F_C \cdot \Delta t \quad (7.25)$$

$\dot{W}_{W,d,i}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto dell'ausiliario i-esimo al servizio del circuito di ricircolo del sottosistema di distribuzione, [kW]; (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

$F_C$  fattore correttivo che tiene conto della presenza di sistemi di controllo sul circuito di ricircolo:

- = 0,5 in presenza di dispositivi a tempo;  
 = 0,8 in presenza di dispositivi basati sulla lettura delle temperature;  
 = 1 in assenza di dispositivi di controllo;

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Le perdite termiche recuperabili e recuperate sono calcolate secondo quanto specificato nell'Appendice J, equazione (J.3), per cui la quota recuperata è pari a:

$$Q_{Z,RL,dr} = Q_{d,ls,r,rd} \quad (7.26)$$

## 7.5 Bilancio energetico mensile del sottosistema di accumulo, non integrato con il generatore

Il sottosistema di accumulo (non integrato con il generatore) è, ai fini della presente procedura, costituito dall'accumulatore termico comprensivo di scambiatore di calore (interno o esterno), se previsto.

L'energia termica richiesta al sottosistema di accumulo, non integrato con il generatore, è quindi data da:

$$Q_{W,s,out} = Q_{W,d,out} + Q_{W,d,ls} - \sum_i k_{W,d,i} \cdot W_{W,d,i} \quad (7.27)$$

dove:

- $Q_{W,s,out}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di accumulo, [kWh];  
 $Q_{W,d,out}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione, [kWh];  
 $Q_{W,d,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di distribuzione, [kWh];  
 $k_{W,d,i}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dall'i-esimo ausiliario del sottosistema di distribuzione, assunta pari a 0,85;  
 $W_{W,d,i}$  è il fabbisogno di energia elettrica dell'i-esimo ausiliario del sottosistema di distribuzione, [kWh].

Il fabbisogno di energia elettrica del sistema di accumulo,  $W_{W,s}$ , è legato alla presenza di ausiliari collegati al volume di accumulo (resistenze elettriche di back up o post-riscaldamento o mantenimento del livello termico anche in caso di generatore disattivato); tale fabbisogno è dato quindi da:

$$W_{W,s} = W_{W,sv} \quad (7.28)$$

L'energia termica complessivamente dispersa dal sottosistema di accumulo viene calcolata secondo la:

$$Q_{W,s,L} = Q_{W,s,ls} + (1 - k_{W,s}) \cdot W_{W,s} = Q_{W,s,ls} \quad (7.29)$$

dove:

- $Q_{W,s,L}$  è l'energia termica dispersa complessivamente dal sottosistema di accumulo, [kWh];  
 $Q_{W,s,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo, [kWh];  
 $k_{W,s}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di accumulo, assunta pari a 1;  
 $W_{W,s}$  è il fabbisogno di energia elettrica richiesto dagli ausiliari del sottosistema di accumulo, [kWh].

Le perdite recuperate sono date da:

$$Q_{Z,RL,s} = f_{R,W,s} \cdot Q_{W,s,L} \quad (7.30)$$

dove:

- $f_{R,W,s}$  è il fattore di recupero del sottosistema di accumulo, pari a 1 se posto in ambiente a temperatura controllata o pari a 0 se posto fuori dall'ambiente a temperatura controllata;  
 $Q_{W,s,L}$  è l'energia termica dispersa complessivamente dal sottosistema di accumulo, [kWh].

Le perdite del sottosistema di accumulo vengono calcolate secondo la:

$$Q_{W,s,ls} = K_{boll} \cdot (\theta_s - \theta_a) \cdot \Delta t \quad (7.31)$$

dove:

- $Q_{W,s,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo, [kWh];  
 $K_{boll}$  è il valore di dispersione termica dell'apparecchio fornita dal costruttore, [W/K];  
 $\theta_s$  è la temperatura media nell'accumulo, [°C], fissata a 60 [°C];

$\theta_a$  è la temperatura ambiente del locale in cui è installato il serbatoio di accumulo, definita nel Prospetto 7.IV, [°C];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Qualora il costruttore indichi la perdita giornaliera di energia termica  $Q_{\text{test}}$  in kWh/giorno, misurata per una differenza di temperatura di test, il  $K_{\text{boll}}$  è ricavabile come:

$$K_{\text{boll}} = \frac{Q_{\text{test}}}{0,024 \cdot (\theta_{\text{test},s} - \theta_{\text{test},a})} \quad (7.32)$$

dove:

$\theta_{\text{test},s}$  è la temperatura media nell'accumulo dichiarata dal costruttore, [°C];

$\theta_{\text{test},a}$  è la temperatura ambiente del locale in cui è installato il serbatoio di accumulo nelle condizioni di prova dichiarate dal costruttore, [°C].

Ai soli fini della certificazione energetica, se non si dispone del dato di dispersione termica dell'accumulatore,  $K_{\text{boll}}$ , fornito dal costruttore, si esegue il calcolo secondo la:

$$Q_{w,s,ls} = S_s \cdot \frac{\lambda_s}{d_s} \cdot (\theta_s - \theta_a) \cdot \Delta t \quad (7.33)$$

dove:

$Q_{w,s,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo, [kWh];

$S_s$  è la superficie esterna dell'accumulo, [m<sup>2</sup>];

$\lambda_s$  è la conduttività dello strato isolante [W/(m K)];

$d_s$  è lo spessore dello strato isolante, [m];

$\theta_s$  è la temperatura media nell'accumulo, [°C], fissata a 60 [°C];

$\theta_a$  è la temperatura ambiente del locale in cui è installato il serbatoio di accumulo, definita nel Prospetto 7.IV, [°C];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Tipo di ambiente	$\theta_a$ (C°)
Ambiente climatizzato	Temperatura dell'ambiente climatizzato (§ 1.5 )
Ambiente non climatizzato	Temperatura dell'ambiente non climatizzato calcolata secondo l'Appendice A
In centrale termica (nel caso in cui non sia adiacente ad ambienti non climatizzati)	Temperatura media mensile aria esterna + 5 °C
Esterno	Temperatura media mensile aria esterna $\theta_e$

**Prospetto 7.IV - Valori della temperatura media dell'ambiente in cui è installato l'accumulatore**  
(Fonte: adattato da UNI TS 11300-2:2014)

Il fabbisogno di energia elettrica del sistema di accumulo,  $W_{s,w}$ , è il fabbisogno elettrico delle resistenze elettriche di back up o post-riscaldamento o mantenimento del livello termico anche in caso di generatore (esterno) disattivato, e quindi, se presente, copre tutta o parte del fabbisogno termico dell'accumulo,  $Q_{w,s,in}$ , che è pari a:

$$Q_{w,s,in} = Q_{w,s,out} + Q_{w,s,ls} \quad (7.34)$$

da cui

$$W_{w,s} = f_{w,el} \cdot Q_{s,s,in} \quad (7.35)$$

dove:

$Q_{w,s,in}$  è il fabbisogno termico dell'accumulo, [kWh];

$f_{w,el}$  è la frazione del fabbisogno termico dell'accumulo coperta dalle resistenze elettriche presenti nel volume di accumulo, [-].

La frazione del fabbisogno termico dell'accumulo coperta dalle resistenze elettriche presenti nel volume di accumulo si determina in funzione della tipologia di impianto considerata. Per evitare procedure iterative, ai fini dell'applicazione del presente dispositivo, si considerano, se presenti, solo i seguenti casi:

- a) energia termica completamente e solamente fornita dalla resistenza interna (assenza di un generatore termico esterno);
- b) generatore termico condiviso tra riscaldamento e produzione termica di acqua calda sanitaria che non fornisce energia termica all'accumulatore nelle ore del giorno in cui il riscaldamento è disattivo.

Caso a)

$$f_{w,el} = 1 \quad (7.36)$$

Caso b)

$$f_{w,el} = 0 \quad (7.37)$$

Le resistenze elettriche coprono convenzionalmente solo le perdite termiche dell'accumulatore nel periodo di spegnimento del generatore comune con il riscaldamento, che però ai fini del presente dispositivo è sempre attivo 24 ore su 24.

## 7.6 Bilancio energetico mensile del sottosistema di distribuzione tra accumulo e generazione

Il circuito di distribuzione tra accumulo e generazione (G-S) è il circuito idraulico tra generatore termico e accumulatore termico; di conseguenza, ai fini della presente procedura, si ha una rete (G-S) se e solo se si ha un accumulatore termico. Inoltre occorre tenere presente che è possibile avere all'interno del sottosistema di generazione più generatori di tipologia diversa e quindi più circuiti (G-S) che collegano tali

generatori all'accumulatore termico. Di conseguenza, in generale, il sottosistema di distribuzione (G-S) può essere composto da più circuiti in parallelo diversi tra loro.

L'energia termica richiesta complessivamente al sottosistema di distribuzione (G-S) è quindi data, per la (7.34), da:

$$Q_{W,g-s,out} = Q_{W,s,in} \quad (7.38)$$

dove:

$Q_{W,dp,out}$  è l'energia termica richiesta complessivamente al sottosistema di distribuzione tra accumulo e generazione, [kWh];

$Q_{W,s,in}$  è l'energia termica richiesta dal sottosistema di accumulo, [kWh].

L'energia termica richiesta a ogni singolo circuito (G-S) sarà data invece dalla:

$$Q_{W,g-s,out,i} = f_{RP,i} \cdot Q_{W,g-s,out} \quad (7.39)$$

dove:

$Q_{W,g-s,out,i}$  è l'energia termica richiesta circuito (G-S) i-esimo, [kWh];

$Q_{W,g-s,out}$  è l'energia termica richiesta complessivamente al sottosistema di distribuzione (G-S), [kWh];

$f_{RP,i}$  è il fattore di ripartizione dell'energia complessivamente richiesta, cioè la frazione coperta dal circuito i-esimo, [-].

Il fattore di ripartizione dell'energia complessivamente richiesta, cioè la frazione coperta dal circuito (G-S) i-esimo,  $f_{RP,i}$ , è un dato che dipende dalla configurazione e dalle logiche di controllo dei sistemi di generazione collegati all'accumulatore tramite i diversi circuiti (G-S).

Ai fini della presente procedura si considerano possibili solo i seguenti casi:

- circuito tra accumulatore e sistema solare termico e tra accumulatore e caldaia o pompa di calore;
- circuito tra accumulatore e sistema cogenerativo e tra accumulatore e caldaia o pompa di calore

Caso a)

$$\begin{aligned} f_{RP,sol} &= FS \\ f_{RP,alt} &= 1 - FS \end{aligned} \quad (7.40)$$

dove:

FS è la frazione solare del sistema solare termico, [-].

Caso b)

$$\begin{aligned} f_{RP,sol} &= FC \\ f_{RP,alt} &= 1 - FC \end{aligned} \quad (7.41)$$

dove:

FC è la frazione dell'energia termica complessivamente richiesta coperta dal sistema cogenerativo, [-].

Le frazioni FS e FC dipendono dalle modalità di funzionamento dei generatori solare e cogenerativo e, quindi si rinvia agli specifici paragrafi, § 11.8.9 e § 11.10, per la loro determinazione che può essere anche iterativa.

Per il calcolo delle perdite termiche del singolo circuito (G-S) i-esimo e della quota recuperabile si considerano seguenti casi:

a) distanza tra generatore e serbatoio di accumulo  $\leq 5$  m e tubazioni di collegamento isolate:

- le perdite si considerano trascurabili;

$$\begin{aligned} Q_{W,g-s,ls} &= 0 \\ Q_{Z,RL,g-s} &= 0 \end{aligned} \quad (7.42)$$

b) distanza tra generatore e serbatoio di accumulo  $\leq 5$  m e tubazioni di collegamento non isolate:

- le perdite si calcolano in modo dettagliato secondo nell'Appendice J sulla base della temperatura media dell'acqua nel circuito;

$$\begin{aligned} Q_{W,g-s,ls} &= Q_{d,ls} \\ Q_{Z,RL,g-s} &= Q_{d,ls,rvd} \end{aligned} \quad (7.43)$$

c) distanza tra generatore e serbatoio di accumulo  $> 5$  m:

- calcolo come nel caso precedente.

La perdita termica complessiva e la quota recuperabile per il sottosistema distribuzione (G-S) sono quindi date da:

$$\begin{aligned} Q_{W,g-s,ls} &= \sum_{i=1}^{N_c} Q_{W,g-s,ls,i} \\ Q_{Z,RL,g-s} &= \sum_{i=1}^{N_c} Q_{Z,RL,g-s,i} \end{aligned} \quad (7.44)$$

dove:

$N_c$  è il numero di circuiti presenti nel sottosistema di distribuzione (G-S), [-].

Il fabbisogno di energia elettrica complessivo del sottosistema di distribuzione,  $W_{W,dp}$ , è dato dalla somma dei fabbisogni di energia elettrica dei singoli circuiti (G-S) presenti,  $W_{W,g-s,i}$ , cioè:

$$W_{W,g-s} = \sum_{i=1}^{N_c} W_{W,g-s,i} \quad (7.45)$$

dove:

$W_{W,g-s,i}$  è il fabbisogno di energia elettrica dagli ausiliari dell'i-esimo circuito (G-S), [kWh];

$N_c$  è il numero di circuiti presenti nel sottosistema di distribuzione (G-S), [-].



Il fabbisogno di energia elettrica dell'i-esimo circuito (G-S) è dato dal prodotto tra la potenza complessiva degli ausiliari, in condizioni nominali di esercizio, e il tempo di funzionamento del circuito (G-S) che coincide con il tempo di funzionamento del generatore ad esso collegato, secondo la relazione:

$$W_{W,g-s,i} = \sum_j \dot{W}_{W,g-s,i,j} \cdot \Delta t \cdot FC_{gw,i} \quad (7.46)$$

$\dot{W}_{W,g-s,i,j}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto dall'ausiliario j-esimo al servizio del i-esimo circuito (G-S), [kW]; (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

$FC_{gw,i}$  è il fattore di carico utile medio mensile del generatore asservito alla produzione di acqua calda collegato al circuito (G-S) i-esimo, [-].

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Il fattore di carico utile medio mensile del generatore asservito alla produzione di acqua calda collegato al circuito (G-S) i-esimo si stima con la seguente formula:

$$FC_{gw,i} = \frac{Q_{W,g-s,out,i} - Q_{W,g-s,ls,i} - k_{W,g-s,i} \cdot W_{W,g-s,i}}{\Phi_{N,gw} \cdot \Delta t} \quad (7.47)$$

dove:

$Q_{W,g-s,out,i}$  è l'energia termica richiesta all'i-esimo circuito del sottosistema di distribuzione (G-S), [kWh];

$Q_{W,g-s,ls,i}$  è la perdita termica di processo dell'i-esimo circuito del sottosistema di distribuzione (G-S), [kWh];

$k_{W,g-s,i}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari dell'i-esimo circuito del sottosistema di distribuzione (G-S), assunta pari a 0,85;

$W_{W,g-s,i}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari dell'i-esimo circuito del sottosistema di distribuzione (G-S), [kWh];

$\Phi_{N,gw}$  è la potenza termica utile nominale del generatore termico collegato circuito (G-S) i-esimo, [kWh];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Per ottenere il fabbisogno di energia elettrica dell'i-esimo circuito (G-S) del sottosistema di distribuzione si combinano le equazioni precedenti ottenendo:

$$W_{W,g-s,i} = \frac{\Delta t \cdot \sum_j \dot{W}_{W,g-s,i,j} \cdot (Q_{W,g-s,out,i} - Q_{W,g-s,ls,i})}{\Phi_{N,gw} \cdot \Delta t + k_{W,g-s,i} \cdot \Delta t \cdot \sum_j \dot{W}_{W,g-s,i,j}} = \frac{\sum_j \dot{W}_{W,g-s,i,j} \cdot (Q_{W,g-s,out,i} - Q_{W,g-s,ls,i})}{\Phi_{N,gw} + k_{W,g-s,i} \cdot \sum_j \dot{W}_{W,g-s,i,j}} \quad (7.48)$$

## 7.7 Autoclave

Il sistema di distribuzione dell'acqua potabile all'interno di un edificio è normalmente sostenuto dalla pressione dell'acquedotto cittadino e quindi i costi energetici di pompaggio non sono né conosciuti né

evidenti all'utenza finale e quindi non vengono normalmente presi in considerazione al fini del presente dispositivo.

Fanno eccezione i seguenti casi:

- a) presenza di un sistema di autoclave;
- b) pompaggio diretto da pozzo.

In entrambi i casi è presente una pompa di prelievo che copre le perdite di carico e il dislivello geodetico necessario ad un'efficace distribuzione dell'acqua, con particolare riferimento a quella calda sanitaria.

Considerata non recuperabile l'energia meccanica dissipata dalla pompa, ai fini del presente dispositivo, si considera solo la spesa energetica legata alla distribuzione dell'acqua potabile necessaria per la produzione dell'acqua calda sanitaria.

Il fabbisogno elettrico della pompa dell'autoclave (o pompaggio diretto da pozzo) si calcola come:

$$W_{W,a} = \sum_i \frac{\dot{W}_{W,a,i}}{\dot{V}_{W,pa,i}} \cdot V_W \cdot N \quad (7.49)$$

$W_{W,a}$  è il fabbisogno di energia elettrica dell'autoclave (se presente), [kWh];

$\dot{W}_{W,d,i}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto dall'pompa i-esima, [kW]; in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

$\dot{V}_{W,pa,i}$  è la portata volumica nominale di esercizio (e non la portata di targa) dell'pompa i-esima, [m<sup>3</sup>/h];

$V_W$  è il volume di acqua richiesto complessivamente al servizio, in [m<sup>3</sup>|giorno], così come definito dall'equazione (5.6) ;

$N$  è il numero dei giorni del mese considerato, [-].

### 7.8 Perdite termiche recuperate dal sistema di erogazione del servizio di acqua calda sanitaria

Le perdite del sistema di erogazione del servizio di acqua calda sanitaria sono considerate recuperabili ai fini del calcolo del fabbisogno di energia termica netta per il riscaldamento o climatizzazione invernale dell'edificio.

Le perdite recuperate,  $Q_{Z,rvd}$ , dalla zona Z sono date da:

$$Q_{Z,rvd} = Q_{Z,rvd,d} + Q_{Z,rvd,s} + Q_{Z,rvd,g-s} + Q_{Z,rvd,g} \quad (7.50)$$

dove:

$Q_{Z,rvd}$  è il totale delle perdite termiche del sistema impiantistico asservito alla produzione di acqua calda sanitaria recuperate dalla zona Z, [kWh];

$Q_{Z,rvd,d}$  è la quota recuperata nella zona Z della perdita termica del sistema di distribuzione, data dall'equazione (7.17), [kWh];

- $Q_{z,rvd,s}$  è la quota recuperata nella zona Z della perdita termica del sistema di accumulo, data dall'equazione (7.30), [kWh];
- $Q_{z,rvd,g-s}$  è la quota recuperata nella zona Z della perdita termica del sistema di distribuzione tra accumulatore e generatore, calcolata con l'equazione (7.44), [kWh];
- $Q_{z,rvd,g}$  è la quota recuperata nella zona Z della perdita termica del sistema di generazione, quota calcolata nel paragrafo § 11.6, equazione (11.87), [kWh] e/o nel paragrafo § 11.8.8.11 e/o § 11.8.9.11.

## 8 Fabbisogno di energia termica ed elettrica del servizio riscaldamento e climatizzazione invernale

Un servizio riscaldamento è realizzabile con modalità impiantistiche diverse, che pure assolvono alla medesima funzione, fornire energia termica agli ambienti delle zone al fine di mantenere la temperatura dell'aria interna al valore assegnato.

Un servizio di climatizzazione invernale è un servizio che comporta sia il controllo della temperatura dell'aria degli ambienti climatizzati, sia il controllo dell'umidità dell'aria; quindi un servizio di climatizzazione invernale è un servizio di riscaldamento con in più la funzione di controllo dell'umidità dell'aria.

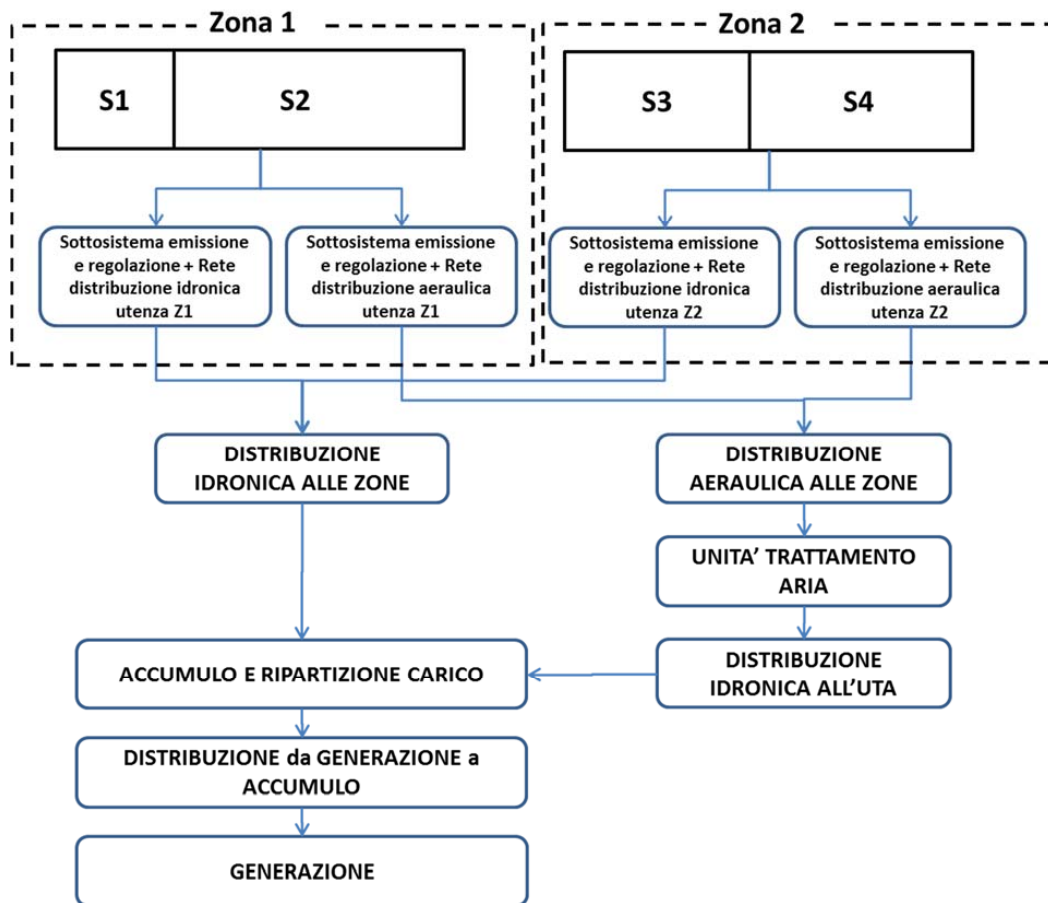


Figura 8.1 – Schema possibili combinazioni sottosistemi del servizio riscaldamento o climatizzazione invernale

Con riferimento alla Figura 8.1, il sistema impiantistico che serve le utenze finali consta sempre di una distribuzione finale alle utenze del fluido termovettore, ma può poi diversificarsi nei seguenti modi:

- d) distribuzione finale all'utenza delle zone solo idronica:  
i terminali d'impianto nella zona considerata sono solo alimentati da fluido termovettore liquido (solitamente acqua);
- e) distribuzione finale all'utenza delle zone solo aeraulica;  
i terminali d'impianto nella zona considerata sono solo alimentati da fluido termovettore aria;
- f) distribuzione finale all'utenza delle zone mista idronica-aeraulica:  
i terminali d'impianto nella zona considerata sono sia alimentati da fluido termovettore liquido sia da aria;
- g) distribuzione finale all'utenza delle zone attraverso fluido con transizione di fase (refrigerante):  
i terminali nella zona considerata sono alimentati da un fluido frigorifero che subisce nel terminale una transizione di fase (condensazione se in modalità riscaldamento, evaporazione se in modalità raffrescamento).

In funzione della tipologia dei terminali d'impianto e della distribuzione finale all'utenza delle zone, il sistema impiantistico sarà in grado di soddisfare il solo servizio riscaldamento o il servizio climatizzazione invernale (riscaldamento più umidificazione) o entrambi.

Il generico sistema impiantistico per servire le varie zone dispone di una rete di distribuzione alle zone del fluido termovettore, che, a seconda delle tipologie di distribuzione finale alle utenze, è o solo idronica, o solo aeraulica o sia idronica che aeraulica, oppure è costituita una rete che trasporta refrigerante. Tali reti possono essere comuni a più zone, così come essere dedicate a ciascuna zona servita.

Quando è presente una distribuzione aeraulica alle zone, sarà sempre presente almeno un sottosistema costituito dall'unità trattamento aria (UTA) che normalmente è alimentata a sua volta da un circuito idronico interconnesso con il sistema di generazione di energia termica (anche, eventualmente, tramite un sottosistema di accumulo termico), oppure un ventilconvettore canalizzato o sistemi ad espansione diretta canalizzati.

Il generico sistema impiantistico viene quindi suddiviso in sottosistemi funzionali, che possono essere interconnessi in vari modi e che sono identificati come:

- f) sottosistema di emissione (idronico e/o aeraulico);
- g) sottosistema di distribuzione (idronica e/o aeraulica);
- h) sottosistema unità trattamento aria (UTA) o ventilconvettore o unità ad espansione diretta canalizzati;
- i) sottosistema di accumulo termico;

- j) sottosistema di distribuzione tra sottosistema di accumulo e di generazione;
- k) sottosistema di generazione.

In presenza di un sistema impiantistico che utilizza una distribuzione finale all'utenza delle zone attraverso fluido con transizione di fase (caso d delle tipologie di distribuzione), ad esempio sistemi VRV (volume di refrigerante variabile), sistemi multi-split, ecc., ma anche nel caso di sistemi autonomi d'ambiente (condizionatori d'aria split, unità monoblocco ad espansione diretta ad armadio, unità monoblocco ad espansione diretta da finestra, ecc.), il sistema impiantistico consta solo dei seguenti sottosistemi:

- a) sottosistema di emissione;
- b) sottosistema di generazione;

in quanto tutte le perdite dei sottosistemi intermedi (ad esempio le perdite del sistema di distribuzione del fluido con transizione di fase) sono contenute nel coefficiente di prestazione dell'apparato di generazione.

Si ha un unico servizio riscaldamento o climatizzazione invernale quando una o una pluralità di utenze vengono servite da un unico sistema di generazione di energia termica a tale scopo dedicato, tramite una composizione anche plurima di sottosistemi di emissione, distribuzione, UTA o ventilconvettore o unità ad espansione diretta canalizzati, accumulo e distribuzione primaria, cioè da uno o più sistemi impiantistici.

Fa eccezione il caso di sistemi impiantistici che servono un unico ambiente utilizzando unità di generazione autonome (condizionatori d'aria split, unità monoblocco ad espansione diretta ad armadio, unità monoblocco ad espansione diretta da finestra, ecc.). In tal caso, l'unità immobiliare resta il riferimento formale per la determinazione della prestazione energetica, mentre i singoli ambienti dotati di unità con generatore autonomo costituiscono zone termiche separate alimentate direttamente da generatori distinti. Gli ambienti dell'unità immobiliare non dotati di sistemi di condizionamento dall'aria autonomi vengono considerati ambienti a temperatura non controllata e le loro superfici in pianta sono desunte dall'area utile dell'unità immobiliare usata per la normalizzazione dell'indice di efficienza energetica.

Nel caso applicazione del presente dispositivo alla certificazione energetica, il calcolo viene esemplificato considerando gli ambienti dotati di condizionatori autonomi un'unica zona termica, gli ambienti non dotati di condizionatori autonomi un unico ambiente a temperatura non controllata e la zona termica servita da un'unica macchina che ha come potenza nominale la somma delle potenze nominali delle macchine installate e come prestazione quella relativa alla macchina di prestazione inferiore.

## 8.1 Energia termica richiesta al servizio di riscaldamento e di climatizzazione invernale

Per il calcolo dell'energia termica richiesta dal sistema di riscaldamento e/o climatizzazione invernale al sottosistema di generazione, occorre innanzitutto individuare se siano presenti più ramificazioni d'impianto che confluiscono in un'unica o più centrali termiche, il cui insieme costituisce il sistema di generazione dell'energia termica richiesta. Nel presente dispositivo si intende infatti con il termine centrale termica quella parte del sistema edilizio dedicata all'accoglimento degli apparati di generazione di energia termica; mentre con il termine sistema di generazione si intende l'insieme funzionale di tutti gli apparati di generazione di energia termica asserviti ad un unico servizio indipendentemente dalla loro localizzazione nel sistema edilizio.

Il sottosistema di emissione e, in parte, di distribuzione possono essere differenti sia all'interno della stessa zona che in funzione delle diverse zone servite; così come l'eventuale sistema d'accumulo se presente.

Si possono individuare i seguenti sotto casi:

- a) un unico sistema impiantistico, che serve un'unica zona termica, alimentato da un'unica centrale termica;
- b) un unico sistema impiantistico, che serve più zone termiche, alimentato da un'unica centrale termica;
- c) un unico sistema impiantistico, che serve più zone termiche, alimentato da più centrali termiche;
- d) più sistemi impiantistici (diversi tra loro come tipologia), che servono la stessa zona termica, alimentati dalla stessa centrale termica;
- e) più sistemi impiantistici (diversi tra loro come tipologia), che servono la stessa zona termica, alimentati da diverse centrali termiche;
- f) più sistemi impiantistici (diversi tra loro come tipologia), che servono più zone termiche, alimentati dalla stessa centrale termica;
- g) più sistemi impiantistici (diversi tra loro come tipologia), che servono più zone termiche, alimentati da diverse centrali termiche.

Il caso più generale, che comprende tutti gli altri casi, è il caso g), che può essere visto come una composizione di più casi d) (uno per ogni centrale termica), il quale a sua volta non è altro che un'applicazione multipla del caso b), come l'esempio schematizzato in Figura 8.2, dove abbiamo un sistema impiantistico di tipologia A con due ramificazioni 1 e 2 che servono due zone distinte, e un sistema impiantistico di tipologia B che serve altre due zone con i suoi due ramificazioni 1 e 2.

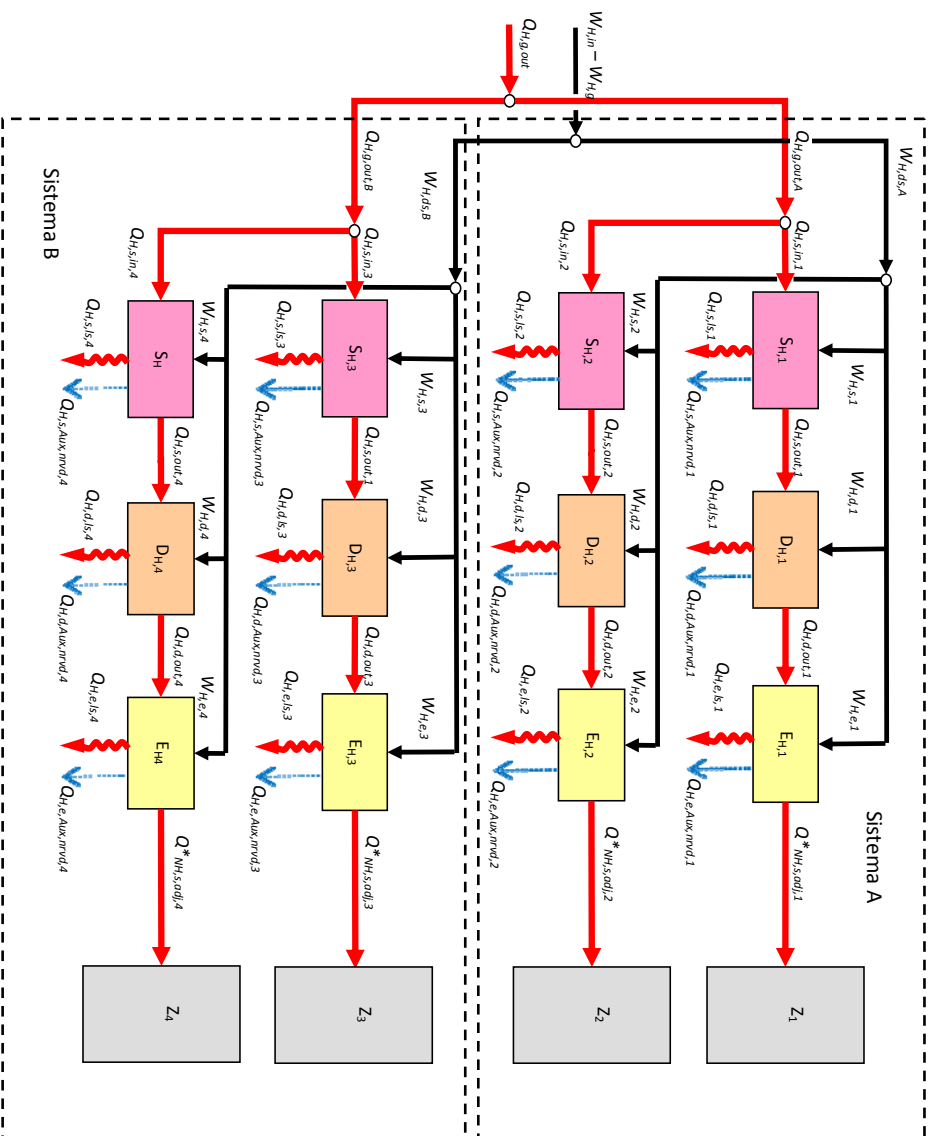


Figura 8.2 – Caso f) con due sistemi impiantistici diversi che servono diverse zone



Al fine di considerare tutte le possibilità elencate, per ogni zona termica i-esima:

1. si calcola il fabbisogno di acqua calda sanitaria relativo alla zona termica i-esima per definire le perdite termiche recuperabili dalla zona stessa,  $Q_{Z,rvd,i}$  secondo la relazione (2.61) e quanto definito al § 7.8;
2. si calcola il fabbisogno termico netto sensibile corretto della zona termica i-esima, definito come:

$$Q_{NH,s,adj,i}^* = Q_{NH,s,adj,i} - Q_{Z,rvd,i} \quad (8.1)$$

con:

$Q_{NH,s,adj,i}^*$  è il fabbisogno di energia termica netto corretto per il solo riscaldamento "sensibile" della zona termica, si veda la (3.3), [kWh];

$Q_{NH,s,adj,i}$  è il fabbisogno di energia termica corretto per il solo riscaldamento "sensibile" della zona termica, si veda la (3.3), [kWh];

$Q_{Z,rvd,i}$  è la quota recuperata dal sistema involucro della zona termica i-esima delle perdite del sistema di produzione di acqua calda sanitaria, si veda la (2.61), [kWh];

NOTA: se il sistema impiantistico o almeno uno dei sistemi impiantistici che deve soddisfare le richieste della zona termica i-esima è un **sistema di condizionamento dell'aria**, cioè per compensare i carichi termici viene immessa nella zona aria trattata o solo termicamente (riscaldamento) o termoigrometricamente (climatizzazione invernale), e se questo soddisfa contestualmente anche le richieste di ventilazione (necessarie per il mantenimento della qualità dell'aria), il fabbisogno di energia termica netto corretto per il solo riscaldamento "sensibile" della zona termica,  $Q_{NH,s,adj,i}^*$ , va determinato includendo nelle perdite per ventilazione,  $Q_v$ , solo le infiltrazioni, così come definito alla lettera e) del § 3.3.6.3. Tale perdita va invece considerata così come definito alla lettera c) del § 3.3.6.3 in quei mesi in cui tale sistema assolve esclusivamente le richieste servizio ventilazione.

3. si calcola la frazione j-esima che viene soddisfatta dal sistema impiantistico j-esimo presente nella zona i-esima:
  - a. se i sistemi impiantistici compresenti sono tutti con terminali alimentati idronicamente (anche ventilconvettori), ad esempio pannelli radianti e corpi scaldanti o ventilconvettori, **e operano in parallelo**, si determina la frazione di fabbisogno termico netto sensibile corretto soddisfatta dal singolo sistema impiantistico come:

$$f_{i,j} = \frac{\Phi_{Nj,j,Tot}}{\sum_{j=1}^M \Phi_{Nj,j,Tot}} \quad \text{con} \quad \Phi_{Nj,j,Tot} = \sum_{k=1}^{N_{t,j}} \Phi_{Nj,j,k} \quad (8.2)$$

dove:

$f_{i,j}$  è la frazione di fabbisogno termico netto sensibile corretto soddisfatta dal sistema impiantistico j-esimo presente nella zona i-esima;

$\Phi_{Nj,j,k}$  è la potenza di progetto del terminale k-esimo del sistema impiantistico j-esimo della zona i-esima, [W];

$\Phi_{Nj,j,Tot}$  è la potenza di progetto complessiva di tutti i terminali dell'impianto j-esimo presenti nella zona i-esima, [W];

$M_i$  è il numero di sistemi impiantistici diversi che servono la stessa zona i-esima;  
 $N_{t,i,j}$  è il numero di terminali del sistema impiantistico j-esimo che serve la zona i-esima.

- b. se i sistemi impiantistici compresenti sono tutti con terminali alimentati idronicamente (anche ventilconvettori), ad esempio pannelli radianti e corpi scaldanti o ventilconvettori, **e operano in sequenza ordinata**, si determina la frazione di fabbisogno termico netto sensibile corretto soddisfatta dal singolo sistema impiantistico come:

$$\Phi_{N,i,j,Tot} = \sum_{k=1}^{N_{i,j}} \Phi_{N,i,j,k}$$

$$\Phi_{av,i,Tot} = \Phi_{Tot} = Q_{NH,adj, i}^* / \Delta t$$

per ogni j

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta\Phi_{i,j} = \Phi_{Tot} - \Phi_{N,i,j,Tot} \\ \text{se } \Delta\Phi_{i,j} > 0 \Rightarrow f_{i,j} = \frac{\Phi_{N,i,j,Tot}}{\Phi_{av,i,Tot}} \\ \text{se } \Delta\Phi_{i,j} \leq 0 \Rightarrow \begin{cases} \text{se } \Phi_{Tot} > 0 \Rightarrow f_{i,j} = \frac{\Phi_{Tot}}{\Phi_{av,i,Tot}} \\ \text{se } \Phi_{Tot} \leq 0 \Rightarrow f_{i,j} = 0 \end{cases} \\ \Phi_{Tot} = \Phi_{Tot} - \Delta\Phi_{i,j} \end{array} \right. \quad (8.3)$$

dove:

$f_{i,j}$  è la frazione di fabbisogno termico netto sensibile corretto soddisfatta dal sistema impiantistico j-esimo presente nella zona i-esima, [-].

- c. se il sistema impiantistico presente è un sistema misto aeraulico-idronico, ad esempio aria primaria e ventilconvettori o aria primaria e travi fredde, si determina la frazione di fabbisogno termico netto sensibile corretto soddisfatta dal singolo sistema impiantistico tenendo conto che il sistema idronico sopperisce a tutto il fabbisogno termico netto sensibile, calcolato come alla nota del punto 2, più una quota aggiuntiva dovuta all'introduzione in ambiente di un'aria primaria che non è neutra, cioè che si trova ad una temperatura più bassa o più alta di quella dell'ambiente:

$$\begin{aligned} f_{i,hyd} &= 1 + \Delta f_{i,pa} \\ f_{i,ahu} &= -\min[0; \Delta f_{i,pa}] \end{aligned} \quad (8.4)$$

dove

$f_{i,hyd}$  è la frazione di fabbisogno termico netto sensibile corretto soddisfatta dal sistema impiantistico idronico presente nella zona i-esima, [-];

$\Delta f_{i,pa}$  è l'incremento della frazione di fabbisogno termico netto sensibile del sistema idronico per il riscaldamento dell'aria primaria, [-];

$f_{i,ahu}$  è la frazione di fabbisogno termico netto sensibile corretto soddisfatta dal sistema impiantistico aeraulico (aria primaria) presente nella zona i-esima, [-];

con

$$\Delta f_{i,pa} = \frac{\rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_{HV,im,i} (\theta_i - \theta_{im,des,i}) \cdot \Delta t}{Q_{NH,adj,i}^*} \quad (8.5)$$

dove

$\rho_a \cdot c_a$  è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 1.210 J/(m<sup>3</sup>K) a 20 °C;

$\dot{V}_{HV,im,i}$  è la portata media giornaliera per l'aria di ventilazione/climatizzazione nella zona i-esima, [m<sup>3</sup>/s], calcolata con l'equazione (8.54);

$\theta_i$  è la temperatura prefissata della zona i-esima, [°C];

$\theta_{im,des,i}$  è la temperatura prefissata (di progetto o di set-point) di immissione dell'aria nella zona i-esima, [°C], minore, uguale o maggiore di  $\theta_i$ .

4. si calcola il fabbisogno di energia termica "sensibile" corretto della zona al netto delle perdite recuperate richiesto al j-esimo sistema impiantistico  $Q_{NH,adj,i,j}^*$ , determinato come:

$$Q_{NH,adj,i,j}^* = Q_{NH,adj,i}^* \cdot f_{i,j} \quad (8.6)$$

5. si calcola il fattore di carico del sottosistema j-esimo di emissione della zona i-esima (campo di validità 0-1),  $FC_{e,i,j}$ , come:

$$FC_{e,i,j} = \frac{\Phi_{i,j,av}}{\Phi_{N,i,j,Tot}} \quad (8.7)$$

con

$$\Phi_{i,j,av} = Q_{NH,adj,i,j}^* / \Delta t \quad (8.8)$$

dove:

$\Phi_{N,i,j,Tot}$  è la potenza di progetto complessiva di tutti i terminali dell'impianto j-esimo presenti nella zona i-esima, [W];

$\Phi_{i,j,av}$  è la potenza media giornaliera media mensile richiesta all'impianto j-esimo dalla zona i-esima, [W];

$Q_{NH,adj,i,j}^*$  è il fabbisogno di energia termica sensibile netto corretto annuo per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona termica i-esima coperto dalla tipologia d'impianto j-esimo, [kWh];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

6. si calcola per la zona i-esima, se il sistema impiantistico j-esimo controlla anche l'umidità dell'aria ambiente (umidificazione), il suo fabbisogno di energia termica "latente",  $Q_{NH,hum}$ , determinato con l'equazione (4.2);
7. si calcolano le perdite termiche dei sottosistemi appartenenti ad ogni j-esima tipologia di sistema impiantistico che serve la zona i-esima fino al sottosistema di generazione escluso;

8. si sommano le richieste delle diverse tipologie o ramificazioni d'impianto che convergono sullo stesso sottosistema di generazione.

## 8.2 Fabbisogno termico lordo di energia per il riscaldamento e la climatizzazione invernale

Il fabbisogno termico lordo annuo complessivo per il riscaldamento (sistemi di riscaldamento idronici) si determina come:

$$Q_{H,g,out} = \sum_{m=1}^{12} Q_{H,g,out,m} \quad (8.9)$$

dove:

$Q_{H,g,out,m}$  è la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per il riscaldamento, [kWh];

$m$  numero del mese.

Il fabbisogno termico lordo annuo complessivo per la climatizzazione invernale (sistemi di riscaldamento ad aria e umidificazione dell'aria) si determina come:

$$Q_{HA,g,out} = \sum_{m=1}^{12} Q_{HA,g,out,m} \quad (8.10)$$

dove:

$Q_{HA,g,out,m}$  è la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per la climatizzazione invernale, [kWh];

$m$  numero del mese.

Il fabbisogno termico lordo mensile complessivo, ovvero la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per il riscaldamento e/o la climatizzazione invernale, si calcola distintamente per ogni  $i$ -esima zona termica dell'edificio e si somma sulle zone ottenendo:

$$Q_{H,g,out,m} = \sum_{i=1}^{N_z} Q_{H,g,out,m,i} \quad (8.11)$$

$$Q_{HA,g,out,m} = \sum_{i=1}^{N_z} Q_{HA,g,out,m,i} \quad (8.12)$$

dove:

$Q_{H,g,out,m,i}$  è la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per il riscaldamento da parte dell' $i$ -esima zona, [kWh];

$Q_{HA,g,out,m,i}$  è la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per la climatizzazione invernale da parte dell' $i$ -esima zona, [kWh];

$N_z$  numero di zone.

Le richieste mensili di energia termica al sistema di generazione per il riscaldamento,  $Q_{H,g,out,m,i}$ , e/o la climatizzazione invernale,  $Q_{HA,g,out,m,i}$ , da parte della zona  $i$ -esima si determinano calcolando le perdite relative ai sottosistemi di emissione, distribuzione, unità trattamento aria, accumulo e distribuzione tra accumulo e generatore specifiche alle parti del sistema impiantistico che la serve e gli eventuali recuperi interni dell'energia elettrica utilizzata dai relativi ausiliari. Nel caso in cui sia presente il servizio climatizzazione invernale (cioè sia presente il processo di umidificazione dell'aria) si aggiunge a questi anche la richiesta di energia termica necessaria per compensare il raffreddamento dell'aria causato dalla deumidificazione stessa, richiesta localizzata nel sottosistema unità trattamento aria.

In generale si ha, per un sistema idronico,:

$$Q_{H,g,out,i,m} = Q_{NH,adj,i,m}^* + \sum_{k=1}^{M_S} (Q_{H,k,ls} - k_{H,k} \cdot W_{H,k})_{i,m} + \sum_{j=1}^{N_S} [f_{i,j} \cdot (Q_{H,j,ls} - k_{H,j} \cdot W_{H,j})]_m \quad (8.13)$$

dove:

- $Q_{NH,adj,i,m}^*$  è il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della  $i$ -esima zona nel mese  $m$ , [kWh], calcolato con la (8.6);
- $Q_{H,k,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema  $k$ -esimo del sistema idronico, [kWh];
- $k_{H,k}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema  $k$ -esimo del sistema idronico, [-];
- $W_{H,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema  $k$ -esimo del sistema idronico, [kWh];
- $f_{i,j}$  è la frazione di fabbisogno termico netto sensibile corretto soddisfatta dal sistema impiantistico  $j$ -esimo presente nella zona  $i$ -esima, [-], calcolata con la (8.2) o la (8.3);
- $M_S$  è il numero di sottosistemi, tra emissione, distribuzioni, accumulo e distribuzione G-S, dei sistemi impiantistici  $j$ -esimi che sono interessati esclusivamente dalla richiesta della zona  $i$ -esima, [-];
- $N_S$  è il numero di sottosistemi, a valle dei primi, che sono contemporaneamente interessati dalla richiesta di più zone  $Z$  (cioè condivisi con altri sistemi impiantistici che servono altre zone, ad esempio un accumulo termico comune), [-];

e, per il sistema aeraulico, se presente, la quota di fabbisogno termico lordo richiesta al sottosistema di generazione sarà determinata a partire dalla richiesta dell'UTA, in quanto l'unità trattamento aria (UTA) disaccoppia il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto dal fabbisogno termico lordo, a causa dell'energia termica addizionale richiesta dai processi di umidificazione che NON COINCIDE con il fabbisogno termico per umidificazione,  $Q_{H,um,nd}$ , cioè:

$$Q_{HA,g,out,i,m} = Q_{HA,UTA,in,i,m} + \sum_{k=1}^{M_S} (Q_{HA,k,ls} - k_{HA,k} \cdot W_{HA,k})_{i,m} + \sum_{j=1}^{N_S} [f_{i,j} \cdot (Q_{HA,j,ls} - k_{HA,j} \cdot W_{HA,j})]_{i,m} \quad (8.14)$$

avendo determinato la richiesta di energia termica "sensibile" all'UTA come:

$$Q_{HA,UTA,out,i,m} = Q_{NH,adj,i,m}^* + \sum_{k=1}^{M_{SA}} (Q_{X,k,ls} - k_{X,k} \cdot W_{X,k})_{i,m} \quad (8.15)$$

$Q_{HA,UTA,in}$  è l'energia termica che viene richiesta dal sottosistema trattamento dell'aria (UTA) per compensare sia il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto,  $Q_{NH,adj}^*$ , sia il

fabbisogno nominale di energia termica "latente",  $Q_{NH, hum}$ , [kWh], in funzione di quanto determinato con la (8.15);

$Q_{HA,UTA,out,m}$  è l'energia termica che viene richiesta al sottosistema trattamento dell'aria (UTA) per compensare il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto,  $Q_{NH,adj,i,m}^*$ , [kWh];

$Q_{HA,k,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema k-esimo del sistema aeraulico, [kWh];

$k_{HA,k}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema k-esimo del sistema aeraulico, [-];

$W_{HA,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema k-esimo del sistema aeraulico, [kWh];

$M_{SA}$  è il numero di sottosistemi aeraulici a valle dell'UTA (emissione e distribuzioni) della zona i-esima, [-].

Se il sistema è dedicato a un'unica utenza di solo riscaldamento con terminali idronici, così come schematizzato in Figura 8.3 per un sistema con distribuzione puramente idronica e accumulo termico, la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione è data dalla (8.16):

$$Q_{H,g,out,m} = \left[ Q_{NH,adj}^* \right]_m + \left[ Q_{H,e,ls} - k_{H,e} \cdot W_{H,e} + Q_{H,d,ls} - k_{H,d} \cdot W_{H,d} + Q_{H,s,ls} - k_{H,s} \cdot W_{H,s} + Q_{H,g-s,ls} - k_{H,g-s} \cdot W_{H,g-s} \right]_m \quad (8.16)$$

dove:

$Q_{NH,adj}^*$  è il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale, [kWh];

$Q_{H,e,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione, [kWh];

$k_{H,e}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di emissione, il cui valore si determina come indicato al § 8.5.1;

$W_{H,e}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di erogazione, [kWh];

$Q_{H,d,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di distribuzione idronica, [kWh];

$k_{H,d}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di distribuzione idronica, il cui valore si determina come indicato al § 8.5.2 e/o al § 8.5.3 e/o al § 8.7;

$W_{H,d}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione idronica, [kWh];

$Q_{H,s,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo, [kWh];

$k_{H,s}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di accumulo, il cui valore si determina come indicato al § 8.8;

$W_{H,s}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di accumulo, [kWh];

$Q_{H,g-s,ls}$  è la perdita termica di processo della distribuzione tra il sottosistema di accumulo e generatore termico, [kWh];

$k_{H,g-s}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di distribuzione tra sottosistema di generazione e quello di accumulo, il cui valore si determina come indicato al § 8.8;

$W_{H,g-s}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione tra sottosistema di generazione e quello di accumulo termico, [kWh];

j indice del circuito tra accumulatore e generatore j-esimo;

m indice del mese.

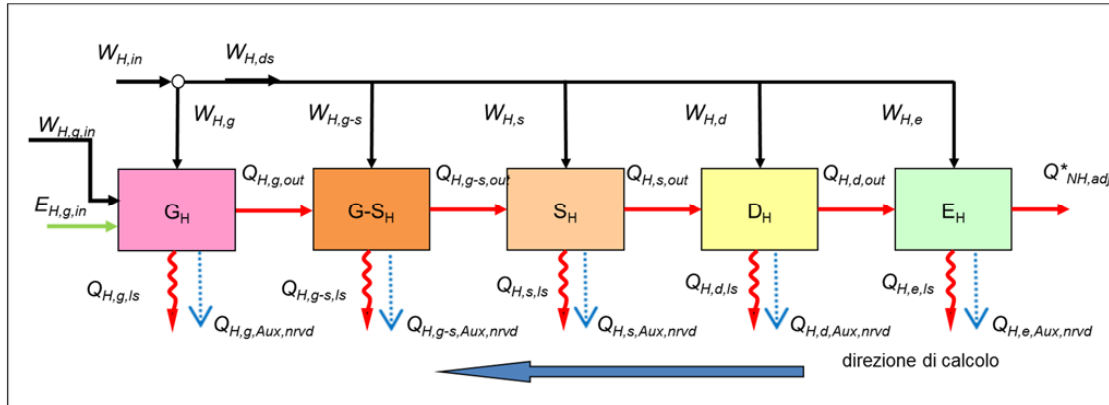


Figura 8.3 – Schema funzionale sottosistemi del servizio riscaldamento idronico con accumulo termico

Se il sistema è dedicato a un'unica utenza di climatizzazione invernale con terminali aeraulici, così come schematizzato in Figura 8.4 per un sistema con un'UTA, distribuzione aeraulica e idronica e accumulo termico, la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione è data dalla (8.17):

$$Q_{HA,g,out,m} = [Q_{HA,UTA,in}]_m + [Q_{HA,d,ls} - k_{HA,d} \cdot W_{HA,d} + Q_{HA,s,ls} - k_{HA,s} \cdot W_{HA,s} + Q_{HA,g-s,ls} - k_{HA,g-s} \cdot W_{HA,g-s}]_m \quad (8.17)$$

avendo determinato la richiesta di energia termica "sensibile" all'UTA come:

$$Q_{HA,UTA,out,m} = Q_{NH,adj,m}^* + [Q_{HA,e,ls} - k_{HA,e} \cdot W_{HA,e} + Q_{HA,da,ls} - k_{HA,da} \cdot W_{HA,da}]_m \quad (8.18)$$

dove:

$Q_{HA,UTA,in}$  è l'energia termica che viene richiesta dal sottosistema trattamento dell'aria (UTA) per compensare sia il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto,  $Q_{NH,adj}^*$ , sia il fabbisogno nominale di energia termica "latente",  $Q_{NH,hum}$ , [kWh], in funzione di quanto determinato con la (8.18);

$Q_{HA,UTA,out,m}$  è l'energia termica che viene richiesta al sottosistema trattamento dell'aria (UTA) per compensare il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto,  $Q_{NH,adj}^*$  [kWh];

$Q_{NH,adj,i,m}^*$  è il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della i-esima zona nel mese m, [kWh], calcolato con la (8.6);

$Q_{HA,e,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione aeraulico, [kWh];

$k_{HA,e}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di emissione aeraulico, il cui valore si determina come indicato al § 8.5.1;

$W_{HA,e}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di erogazione aeraulico, [kWh];

$Q_{HA,da,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di distribuzione aeraulica, [kWh];

$k_{HA,da}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di distribuzione aeraulica, il cui valore si determina come indicato al § 8.6.2 e/o al § 8.6.3;

$W_{HA,da}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione aeraulica, [kWh];

gli altri termini dell'equazione (8.17) hanno lo stesso significato dell'equazione (8.16), solo che sono riferiti ai sottosistemi idronici del sistema aeraulico.

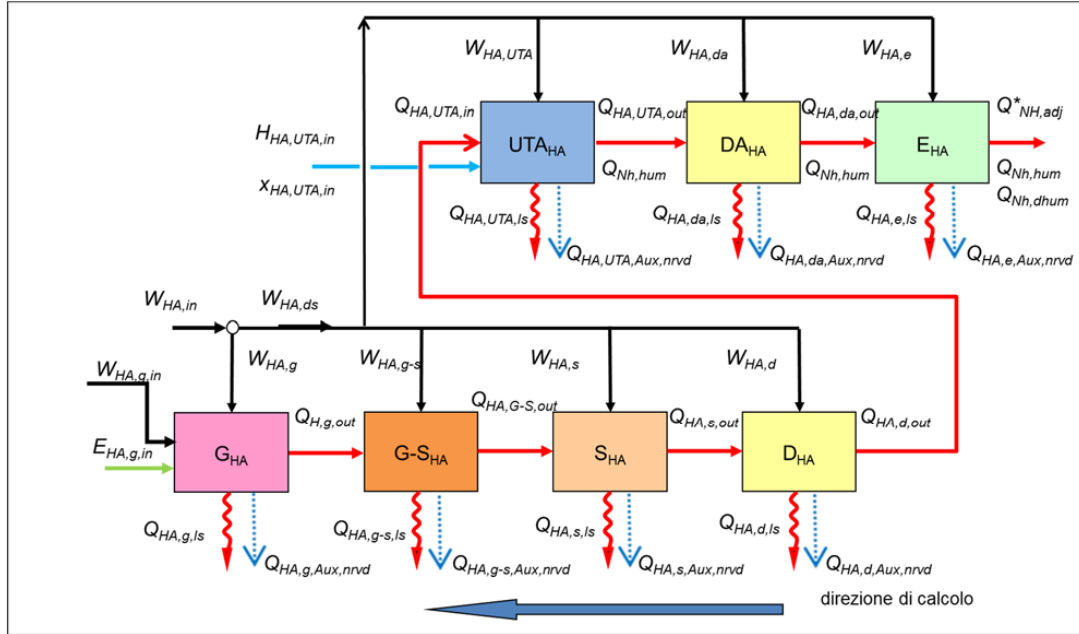


Figura 8.4 – Schema funzionale sottosistemi del servizio climatizzazione invernale con accumulo termico

Si fa notare, con riferimento a Figura 8.4, che l'energia in ingresso all'UTA,  $Q_{HA,UTA,in}$ , non coincide in generale con l'energia termica che viene richiesta per compensare il solo processo di umidificazione dell'aria, giacché l'UTA può anche fornire energia termica ai fini del riscaldamento ambientale, così come non coincide con l'energia termica "latente" richiesta dalla zona,  $Q_{Nh,hum}$ , che non corrisponde ad una richiesta di energia termica sensibile e che quindi non può essere direttamente sommata alla richiesta al sottosistema di generazione.

### 8.3 Fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del servizio di riscaldamento e climatizzazione invernale

Il fabbisogno annuo lordo di energia elettrica da parte degli ausiliari dei sottosistemi di emissione, distribuzione idronica e aeraulica, trattamento dell'aria, accumulo e distribuzione tra generazione e accumulo, per il servizio riscaldamento e climatizzazione invernale, per ogni sistema impiantistico j-esimo, si determina come:

$$W_{H,ds,j} = \sum_{m=1}^{12} W_{H,ds,m,j} \quad (8.19)$$

$$W_{HA,ds,j} = \sum_{m=1}^{12} W_{HA,ds,m,j} \quad (8.20)$$

dove:



$W_{H,ds,m,j}$  è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari del sistema impiantistico j-esimo per il servizio riscaldamento (con esclusione di quelli relativi al sottosistema di generazione) alla centrale elettrica, [kWh];

$W_{HA,ds,m,j}$  è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari del sistema impiantistico j-esimo per il servizio climatizzazione invernale (con esclusione di quelli relativi al sottosistema di generazione) alla centrale elettrica, [kWh];

m numero del mese.

Il fabbisogno mensile lordo di energia elettrica da parte degli ausiliari, ovvero la richiesta mensile di energia elettrica alla centrale elettrica per il servizio riscaldamento e climatizzazione invernale, con esclusione di quella richiesta dagli ausiliari della sottosistema di generazione, si calcola distintamente per il generico sottosistema impiantistico j-esimo, come:

$$W_{H,ds,m,j} = \sum_{i=1}^{N_z} W_{H,ds,m,i,j} \quad (8.21)$$

$$W_{HA,ds,m,j} = \sum_{i=1}^{N_z} W_{HA,ds,m,i,j} \quad (8.22)$$

dove:

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

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

$N_z$  numero di zone.

La richiesta mensile di energia elettrica alla centrale elettrica degli ausiliari del sistema impiantistico j-esimo per il servizio riscaldamento,  $W_{H,ds,i,j}$ , o climatizzazione invernale,  $W_{HA,ds,i,j}$ , che serve la zona i-esima con esclusione di quella richiesta dagli ausiliari della sottosistema di generazione, si determina calcolando le richieste relative ai sottosistemi di erogazione, distribuzione idronica e aeraulica, trattamento dell'aria, accumulo e distribuzione tra generazione e accumulo specifiche al sistema impiantistico che la serve.

In generale si ha:

$$W_{H,ds,m,i,j} = \sum_{k=1}^{M_s} (W_{H,k,i})_{m,j} + f_{i,j} \cdot \sum_{k=1}^{N_s} (W_{H,k,i})_{m,j} \quad (8.23)$$

$$W_{HA,ds,m,i,j} = \sum_{k=1}^{M_s} (W_{HA,k,i})_{m,j} + f_{i,j} \cdot \sum_{k=1}^{N_s} (W_{HA,k,i})_{m,j} \quad (8.24)$$

dove:

$W_{H,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema k-esimo del sistema impiantistico j-esimo idronico, [kWh];

$W_{HA,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema k-esimo del sistema impiantistico j-esimo aeraulico, [kWh];

- $f_{i,j}$  è la frazione di fabbisogno termico netto sensibile corretto soddisfatta dal sistema impiantistico j-esimo presente nella zona i-esima data dall'equazione (8.2), [-];
- $M_S$  è il numero di sottosistemi, tra emissione, distribuzioni, accumulo e distribuzione G-S, dei sistemi impiantistici j-esimi che sono interessati esclusivamente dalla richiesta della zona i-esima, [-];
- $N_S$  è il numero di sottosistemi, a valle dei primi, che sono contemporaneamente interessati dalla richiesta di più zone Z (cioè condivisi con altri sistemi impiantistici che servono altre zone, ad esempio un accumulo termico comune), [-].

Se il sistema è dedicato a un'unica zona i-esima, dispone di soli terminali idronici e soddisfa il solo servizio riscaldamento, è schematizzabile come in Figura 8.3 e la richiesta mensile di energia elettrica alla centrale elettrica è data da:

$$W_{H,ds,i,m} = \left( W_{H,e} + W_{H,d} + W_{H,s} + W_{H,g-s} \right)_{i,m} \quad (8.25)$$

dove:

- $W_{H,e}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di emissione, [kWh];
- $W_{H,d}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione idronica (terziario, secondario, primario), [kWh];
- $W_{H,s}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di accumulo, [kWh];
- $W_{H,g-s}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione tra accumulo e generazione, [kWh];
- $i$  indice della zona;
- $m$  indice del mese.

Se il sistema è dedicato a un'unica zona i-esima, ma dispone di soli terminali aeraulici e soddisfa il servizio climatizzazione invernale, è schematizzabile come in Figura 8.4 e la richiesta mensile di energia elettrica alla centrale elettrica è data da:

$$W_{HA,ds,i,m} = \left( W_{HA,e} + W_{HA,da} + W_{HA,UTA} + W_{HA,d} + W_{HA,s} + W_{HA,g-s} \right)_{i,m} \quad (8.26)$$

dove:

- $W_{HA,da}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione aeraulica (secondario, primario), [kWh];
- $W_{HA,UTA}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di trattamento dell'aria, [kWh].

Gli altri termini hanno lo stesso significato caso precedente, ma sono riferiti al sistema aeraulico (HA).

## 8.4 Bilancio energetico del generico sottosistema di emissione idronico e aeraulico

Le perdite termiche di processo del sottosistema di emissione j-esimo di un sistema idronico,  $Q_{H,e,ls,i,j}$ , che serve la zona i-esima, sono date dalla:

$$Q_{H,e,ls,i,j} = \left( \frac{1}{\eta_{eH,i,j}} - 1 \right) \cdot Q_{NH,adj,i,j}^* \quad (8.27)$$

dove:

$Q_{H,e,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione j-esimo che serve la zona i-esima, [kWh];

$Q_{NH,adj,i,j}^*$  è il fabbisogno mensile di energia termica sensibile netto corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona termica i-esima coperto dalla tipologia d'impianto j-esima nel mese m-esimo, calcolato con l'equazione (8.6), [kWh];

$\eta_{eH,i,j}$  è il rendimento del sottosistema di emissione j-esimo nella zona i-esima, [-].

Analogamente, le perdite termiche di processo del sottosistema di emissione j-esimo di un sistema aeraulico,  $Q_{HA,e,ls,i,j}$ , che serve la zona i-esima, sono date dalla:

$$Q_{HA,e,ls,i,j} = \left( \frac{1}{\eta_{eHA,i,j}} - 1 \right) \cdot Q_{NH,adj,i,j}^* \quad (8.28)$$

dove:

$Q_{HA,e,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione j-esimo che serve la zona i-esima, [kWh];

$Q_{NH,adj,i,j}^*$  è il fabbisogno mensile di energia termica sensibile netto corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona termica i-esima coperto dalla tipologia d'impianto j-esima nel mese m-esimo, calcolato con l'equazione (8.6), [kWh];

$\eta_{eHA,i,j}$  è il rendimento del sottosistema di emissione j-esimo nella zona i-esima, [-].

Il rendimento del generico sottosistema di emissione,  $\eta_{ex}$ , è funzione del rendimento dei terminali di erogazione del calore,  $\eta_{eeX}$ , e del sistema di controllo,  $\eta_{cX}$ , secondo la:

$$\eta_{ex} = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{eeX}} + \frac{1}{\eta_{cX}} - 1} \quad (8.29)$$

dove:

$\eta_{ex}$  è il rendimento del sottosistema di emissione;

$\eta_{eeX}$  è il rendimento dei terminali di erogazione del calore;

$\eta_{cX}$  è il rendimento del sistema di controllo;

X è l'indice di tipologia di sistema, X=H idronico, X= HA aeraulico.

#### 8.4.1 Rendimento dei terminali di erogazione del calore

Nel Prospetto 8.I e nel Prospetto 8.II sono riportati, in funzione della tipologia di terminale di erogazione e dal carico termico specifico, i valori convenzionali del rendimento di emissione degli emettitori,  $\eta_{eeH}$ , per locali di altezza interna rispettivamente inferiore e superiore a 4 metri.

Il Prospetto 8.II fornisce valori indicativi del rendimento dei terminali di erogazione per le tipologie di terminali utilizzati nei locali di altezza maggiore di 4 m. Radiatori e ventilconvettori non sono terminali comunemente utilizzati nei locali di notevole altezza, tuttavia si forniscono, a titolo indicativo, dei valori di rendimenti di emissione.

I valori del prospetto si riferiscono ad installazione a perfetta regola d'arte. Le condizioni di corretta installazione per alcune tipologie di sistema sono fornite dal Prospetto 8.III.

Ai fini del presente dispositivo, qualora non fossero rispettate le condizioni di cui al Prospetto 8.III, il rendimento dei terminali di erogazione viene penalizzato di un fattore 0,1 (si sottrae 0,1 al rendimento determinato secondo il Prospetto 8.II), oppure si procede, quando possibile, al calcolo analitico di cui al § 8.4.3.

Il carico termico specifico,  $\bar{\phi}_i$ , in [W/m<sup>3</sup>], da utilizzare nei prospetti, si calcola con la seguente relazione:

$$\bar{\phi}_{t,i,j} = \frac{Q_{NH,s,adj, i,j}^*}{V_{L,i} \cdot \Delta t} \quad (8.30)$$

dove:

- $\bar{\phi}_{t,i,j}$  è il carico termico specifico della zona termica i-esima coperto dalla tipologia d'impianto j-esimo, [W/m<sup>3</sup>];
- $Q_{NH,s,adj, i,j}^*$  è il fabbisogno di energia termica sensibile netto corretto annuo per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona termica i-esima coperto dalla tipologia d'impianto j-esimo, [kWh];
- $V_{L,i}$  è il volume lordo riscaldato della zona i-esima, [m<sup>3</sup>];
- $\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Terminale di erogazione del calore	Carico termico specifico medio stagionale $\bar{\phi}_t$ [W/m <sup>3</sup> ]		
	< 4	4-10	> 10
	$\eta_{eeH}$		
Radiatori su parete esterna isolata(*)	0,98	0,97	0,95
Radiatori su parete interna	0,96	0,95	0,92
Ventilconvettori(**) (valori riferiti a $\theta_{media}$ acqua=45°)	0,96	0,95	0,94
Termoconvettori	0,94	0,93	0,92
Bocchette in sistemi ad aria calda(***)	0,94	0,92	0,90
Riscaldatori ad infrarossi	0,99	0,98	0,97
Pannelli annegati a pavimento	0,99	0,98	0,97
Pannelli annegati a soffitto	0,97	0,95	0,93
Pannelli a parete	0,97	0,95	0,93
a)	Il carico termico specifico medio stagionale, espresso in W/m <sup>3</sup> è ottenuto dividendo il fabbisogno annuo di energia termica utile sensibile per il riscaldamento espresso in kWh, per il tempo convenzionale di esercizio dei terminali di emissione, espresso in kilo-ore, e per il volume lordo riscaldato del locale o della zona espresso in metri cubi.		
*	Il rendimento indicato è riferito ad una temperatura di mandata dell'acqua minore o uguale a 55°C. Per temperatura di mandata dell'acqua di 85°C il rendimento decrementa di 0,02 e per temperature di mandata comprese tra 55 e 85 °C si interpola linearmente. Per parete riflettente, si incrementa il rendimento di 0,01. In presenza di parete esterna non isolata ( $U > 0,8$ W/(m <sup>2</sup> K) si riduce il rendimento di 0,04.		
**	I consumi elettrici non sono considerati e devono essere calcolati separatamente. Il valore di rendimento riportato in tabella tiene già conto del recupero dell'energia elettrica, che quindi deve essere calcolata solo ai fini della determinazione del fabbisogno di energia ausiliaria e non dell'eventuale recupero.		
***	Per quanto riguarda i sistemi di riscaldamento ad aria calda i valori si riferiscono a impianti con: - griglie di ripresa dell'aria posizionate ad un'altezza non maggiore di 2,00 m rispetto al livello del pavimento; - bocchette o diffusori correttamente dimensionati in relazione alla portata e alle caratteristiche del locale; - corrette condizioni di funzionamento (generatore di taglia adeguata, corretto dimensionamento della portata di aspirazione; - buona tenuta all'aria dell'involucro e della copertura. NOTA - La distribuzione con bocchette di mandata in locali di altezza maggiore di 4 m non è raccomandata e in presenza di tale situazione è opportuno un controllo della stratificazione.		

**Prospetto 8.1 – Valori convenzionali del rendimento dei terminali di erogazione in locali di altezza inferiore a 4m,  $\eta_{eeH}$**   
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

Terminale di erogazione del calore	Carico termico specifico medio stagionale $\phi_t$								
	[W/m <sup>3</sup> ]								
	< 4			4-10			> 10		
	Altezza del locale [m]								
	6	10	14	6	10	14	6	10	14
	$\eta_{eeH}$								
Radiatori su parete esterna isolata (*)	0,96	0,94	0,92	0,95	0,93	0,91	0,93	0,91	0,89
Radiatori su parete interna	0,94	0,92	0,90	0,93	0,91	0,89	0,90	0,88	0,86
Ventilconvettori (**) (valori riferiti a temperatura media acqua 45°C)	0,94	0,92	0,90	0,93	0,91	0,89	0,92	0,90	0,88
Generatore d'aria calda singolo a basamento o pensile	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91
Aerotermi ad acqua	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90
Generatore d'aria calda singolo pensile a condensazione	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
Bocchette in sistemi ad aria calda	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91
Strisce radianti ad acqua, a vapore, a fuoco diretto	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95
Riscaldatori ad infrarossi	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94
Pannelli a pavimento annegati (***)	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95
Pannelli a pavimento (isolati)	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95

\* Il rendimento indicato è riferito ad una temperatura di mandata dell'acqua minore o uguale a 55°C. Per temperatura di mandata dell'acqua di 85°C il rendimento decremanta di 0,02 e per temperature di mandata comprese tra 55 e 85 °C si interpola linearmente. Per parete riflettente, si incrementa il rendimento di 0,01. In presenza di parete esterna non isolata ( $U > 0,8$  W/m<sup>2</sup> K) si riduce il rendimento di 0,04.

\*\* I consumi elettrici non sono considerati e devono essere calcolati separatamente. Il valore di rendimento riportato in tabella tiene già conto del recupero dell'energia elettrica, che quindi deve essere calcolata solo ai fini della determinazione del fabbisogno di energia ausiliaria e non dell'eventuale recupero.

\*\*\* I dati forniti non tengono conto delle perdite di calore non recuperate dal pavimento verso il terreno; queste perdite devono essere calcolate separatamente ed utilizzate per adeguare il valore del rendimento

**Prospetto 8.II – Valori convenzionali del rendimento di dei terminali di erogazione in locali di altezza superiore a 4m,  $\eta_{eeH}$**   
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

Tipologia di sistema	Condizioni di corretta installazione
Generatori aria calda	- salto termico <30 K in condizioni di progetto; - regolazione modulante o alta bassa fiamma, con ventilatore funzionante in continuo; - generatori pensili installati ad un'altezza non maggiore di 4 m; - per impianti canalizzati, bocchette di ripresa dell'aria in posizione non superiore a 1 m rispetto al livello del pavimento; - buona tenuta all'aria dell'involucro e della copertura (in particolare) dello spazio riscaldato.
Strisce radianti	- apparecchi rispondenti alla UNI EN 14037-1; - buona tenuta all'aria dell'involucro e della copertura (in particolare) dello spazio riscaldato.
Pannelli radianti	- sistemi dimensionati e installati secondo la UNI EN 1264-3 UNI EN 1264-4.

**Prospetto 8.III – Condizioni di corretta installazione per terminali di emissione in locali con altezza maggiore di 4 metri**  
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

#### 8.4.2 Correzione del rendimento dei terminali di erogazione per i pannelli radianti

I rendimenti forniti per pannelli a pavimento, a parete o a soffitto, annegati nelle strutture disperdenti (verso ambiente esterno, non climatizzato, climatizzato a temperatura differente e terreno) devono essere corretti come segue:

$$\eta_{eeH,cor} = \eta_{eeH} \cdot f_{emb} \quad (8.31)$$

Il fattore correttivo del rendimento dei terminali di erogazione  $f_{emb}$ , in presenza di corpi pannelli radianti annegati in strutture disperdenti diverse, si calcola come segue:

$$f_{emb} = \frac{\sum_j f_j \cdot \Phi_j}{\sum_j \Phi_j} \quad (8.32)$$

dove:

$f_j$  è il fattore correttivo, [-].

$\Phi_j$  è la potenza nominale pannello radiante o gruppo di pannelli radianti  $j$  annegati nella stessa struttura disperdente, [W]

Per ogni pannello radiante  $j$  annegato nelle strutture il fattore correttivo  $f_j$  si calcola come:

$$f_j = \frac{U_{int}}{U_{int} + U_{est}} \quad (8.33)$$

dove:

$U_{int}$  è la trasmittanza termica della parte di struttura dal lato interno rispetto all'asse dei tubi, [W/(m<sup>2</sup>K)];

$U_{est}$  è la trasmittanza termica della parte di struttura dal lato esterno rispetto all'asse dei tubi, [W/(m<sup>2</sup>K)].

#### 8.4.3 Calcolo del rendimento dei terminali di erogazione per locali di altezza superiore ai 4 m

Nel caso locali di altezza superiore ai 4 metri, qualora non si volesse applicare la penalizzazione di 0,1, di cui al § 8.4.1,

- in presenza di radiatori o ventilconvettori,
- in tutti i casi in cui non sono soddisfatte le condizioni del Prospetto 8.III,
- ed in tutti i casi dubbi,

si deve verificare la presenza di stratificazione, o in modo strumentale (nel caso della certificazione energetica) o tramite l'impiego di adeguati programmi di calcolo termofluidodinamici. Nel caso si riscontrino differenze nel gradiente verticale di temperatura tra soffitto e pavimento maggiori di 5 °C, si deve ricorrere al calcolo analitico definito nella UNI EN 15316-2-1, con o senza misure in campo, ad esempio procedendo come segue:

- dividere lo spazio riscaldato in sottovolumi identificati da strisce orizzontali di medesima altezza;
- misurare o calcolare la temperatura dell'aria ambiente al centro di ogni sottovolume;
- utilizzare la procedura riportata nel § 3.3.5 per il calcolo dell'energia scambiata per trasmissione da ogni singolo sottovolume alla temperatura reale rilevata o calcolata e sommare i contributi dei

singoli sottovolumi per ottenere lo scambio termico totale per trasmissione,  $Q_{H,T,R}$ , dello spazio riscaldato nelle condizioni reali;

- utilizzando la medesima procedura di cui al punto precedente calcolare l'energia scambiata per trasmissione,  $Q_{H,T}$ , dello spazio riscaldato ad una temperatura uniforme di 20 °C;
- il rapporto  $Q_{H,T}/Q_{H,T,R}$  fornisce il valore del rendimento dei terminali di erogazione per quella particolare condizione.

#### 8.4.4 Rendimento del sistema di controllo

Nel Prospetto 8.IV sono riportati, in funzione della configurazione del sistema impiantistico, del fattore di utilizzazione degli apporti interni,  $\eta_{GH,adj}$ , e del rapporto guadagni/dispersioni,  $\gamma_{H,adj}$ , della generica zona termica, i valori convenzionali del rendimento del sistema di controllo,  $\eta_{CH}$  e  $\eta_{CHA}$ .

Tipo di regolazione	Caratteristiche	Sistemi a bassa inerzia termica		Sistemi ad elevata inerzia termica	
		Radiatori, convettori, ventilconvettori, strisce radianti ad aria calda	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	Pannelli annessi nelle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente	
Sola climatica (compensazione con sonda esterna)		$1-(0,6 \cdot \eta_{GH,adj} \cdot \gamma_{H,adj})$	$0,98-(0,6 \cdot \eta_{GH,adj} \cdot \gamma_{H,adj})$	$0,94-(0,6 \cdot \eta_{GH,adj} \cdot \gamma_{H,adj})$	
Solo di zona	On-off	0,93	0,91	0,87	
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	0,88	
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,91	
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	0,92	
	PI o PID	0,99	0,97	0,93	
Solo per singolo ambiente	On off	0,94	0,92	0,88	
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	0,89	
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95	
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96	
	PI o PID	0,995	0,99	0,97	
Zona + Climatica	On off	0,96	0,94	0,92	
	P banda prop. 2 °C	0,96	0,95	0,93	
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94	
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95	
	PI o PID	0,995	0,98	0,96	
Per singolo ambiente + climatica	On off	0,97	0,95	0,93	
	P banda prop. 2 °C	0,97	0,96	0,94	
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95	
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96	
	PI o PID	0,995	0,99	0,97	
NOTA $\gamma_{H,adj}$ rapporto apporti/perdite $\eta_{GH,adj}$ fattore di utilizzo degli apporti interni Nel caso di assenza di regolazione della temperatura ambiente (solo termostato di caldaia), ai soli fini di valutazione dei miglioramenti dell'efficienza energetica, si possono utilizzare i valori della regolazione "solo climatica" con una penalizzazione di 0,05 sul rendimento. Per quanto riguarda le funzioni di regolazione contenute nella UNI EN 15232:2012 Prospetto 2 punto 1.1, il tipo di regolazione "solo climatica" (compensazione con sonda esterna), nel caso di assenza di regolazione della temperatura ambiente (solo termostato di caldaia) corrisponde alla funzione 0 "No automatic control", mentre nel caso di presenza della compensazione con sonda esterna corrisponde alla funzione 1 "central automatic control". Le funzioni 2,3,4 contenute nello stesso punto "Individual room control", "Individual room control with communication" e "Individual room control with communication and presence control" fanno riferimento alle tipologie di regolazione di zona e singolo ambiente, così come previsto dalla stessa UNI EN 15232:2012 Prospetto 2 punto 1.5. La norma UNI EN 215 sulle valvole termostatiche fornisce indicazioni sulle definizioni di banda proporzionale indicate nel prospetto.					

**Prospetto 8.IV – Rendimenti di controllo,  $\eta_{CH}$ , per alcune configurazioni impiantistiche**  
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)



#### 8.4.5 Fabbisogno elettrico

Il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di emissione j-esimo della zona i-esima,  $W_{H,e,i,j}$  e  $W_{HA,e,i,j}$ , è dovuto alla presenza di ventilatori, valvole e sistemi di regolazione. Ai fini del presente dispositivo vengono presi in considerazione solo i ventilatori dei sistemi di emissione aeraulici alimentati idronicamente o direttamente da combustibile (ventilconvettori e generatori d'aria calda) o il carico elettrico totale generatori d'aria calda ad effetto Joule e dei "fan box" (cassette con ventilatore) dei sistemi aeraulici.

Il fabbisogno di energia elettrica di terminali di sistemi idronici dotati di ventilatore si calcola come segue:

- unità con ventilatore sempre in funzione (ad esempio, generatori d'aria calda che immettono direttamente nella zona con regolazione modulante);

$$W_{H,e,i,j} = \sum_k \dot{W}_{H,e,k} \cdot \Delta t \quad (8.34)$$

- unità con arresto del ventilatore al raggiungimento della temperatura prefissata (ad esempio ventilconvettori);

$$W_{H,e,i,j} = \sum_k \dot{W}_{H,e,k} \cdot FC_{e,i,j} \cdot \Delta t \quad (8.35)$$

dove:

$\dot{W}_{H,e,k}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto dell'ausiliario k-esimo al servizio del sottosistema j-esimo di emissione nella zona i-esima, [W]; (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

$FC_{e,i,j}$  è il fattore di carico del sottosistema j-esimo di emissione della zona i-esima (campo di validità 0-1), [-], definito dalla (8.7);

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

**NOTA 1:** La quota dissipata dell'energia elettrica richiesta dagli ausiliari e non direttamente recuperata dal fluido termovettore,  $(1-k_{H,e}) \cdot W_{H,e}$ , non è inclusa nel rendimento di emissione e viene considerata, per evitare iterazioni, non recuperabile ai fini della riduzione del fabbisogno termico.

**NOTA 2:** Se il generatore d'aria calda converte energia elettrica in energia termica per effetto Joule, tale energia, per semplicità viene aggiunta a quella dell'ausiliario; il fabbisogno elettrico risultante è quindi quello complessivo (emissione più generazione).

Nel caso in cui non siano disponibili i dati di progetto dei componenti dell'impianto, la potenza elettrica assorbita dai ventilconvettori è desumibile dal Prospetto 8.V.

Il fabbisogno di energia elettrica di terminali di sistemi aeraulici dotati di ventilatore si calcola come per i terminali dei sistemi idronici sostituendo al pedice H il pedice HA.

Categorie di terminali	Tipologie	Fabbisogni elettrici unitari	
Terminali privi di ventilatore con emissione del calore per convezione naturale ed irraggiamento	Radiatori, convettori, strisce radianti, pannelli isolati dalle strutture ed annegati nelle strutture	Nulli	
Terminali di erogazione per immissione di aria calda	Bocchette e diffusori in genere	Si considerano compresi nella distribuzione dell'aria	
Terminali di erogazione ad acqua con ventilatore a bordo (emissione prevalente per convezione forzata)	Ventilconvettori, convettori ventilati, apparecchi in genere con ventilatore ausiliario	<b>Portata d'aria [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Potenza elettrica [W]</b>
		Fino a 200 m <sup>3</sup> /h	40
		Da 200 a 400 m <sup>3</sup> /h	50
Generatori d'aria calda non canalizzati (*)	Generatori pensili, generatori a basamento, roof top	Da 400 a 600 m <sup>3</sup> /h	60
		1500	90
		2500	170
		3000	250
		4000	350
		6000	700
		8000	900
(*) Nel caso di generatori canalizzati il fabbisogno di energia elettrica del ventilatore deve essere compreso nella distribuzione			

**Prospetto 8.V – Fabbisogni elettrici dei terminali di erogazione del calore**  
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

#### 8.4.6 Emittitori alimentati elettricamente

Nel caso di sistemi di riscaldamento elettrici ad infrarossi o altri tipi di emittitori puramente elettrici, giacché sono alimentati ad energia elettrica, si ha:

$$Q_{H,e,in,i,j} = Q_{H,d,out,i,j} \equiv 0 \quad (8.36)$$

dove:

$Q_{H,e,in}$  è l'energia termica in ingresso al sottosistema di emissione, [kWh];

$Q_{H,d,out}$  è l'energia termica richiesta in uscita al sottosistema di distribuzione, [kWh].

L'energia elettrica richiesta normalmente solo dagli ausiliari in tal caso copre il fabbisogno termico e diventa pari a:

$$W_{H,e,i,j} = Q_{NH,adj,i,j}^* + Q_{H,e,ls,i,j} \quad (8.37)$$

dove:

$W_{H,e,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di emissione/generazione j-esimo nella zona i-esima, [kWh];

- $Q_{NH,s,adj,i,j}^*$  è il fabbisogno di energia termica sensibile netto corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona termica i-esima coperto dalla tipologia d'impianto j-esima, [kWh];
- $Q_{H,e,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione j-esimo nella zona i-esima, [kWh].

## 8.5 Bilancio energetico del generico sottosistema di distribuzione idronico

Il sottosistema di distribuzione idronico può essere suddiviso in più circuiti idraulici e nel caso più generale è possibile identificare le seguenti diverse tipologie interconnesse ad albero:

- a) Circuito di distribuzione finale agli emettitori di zona (*distribuzione terziaria*);
- b) Circuito di distribuzione alle zone (*distribuzione secondaria*);
- c) Circuito di *distribuzione primaria*;
- d) Circuito da generazione ad accumulo termico (che verrà trattato separatamente a valle del sottosistema di accumulo).

Nell'esempio di Figura 8.5 è possibile identificare diverse combinazioni di tali circuiti. Ad esempio per la zona Z1 e Z2, oltre che esserci il circuito di distribuzione finale di zona, vi è un tratto di circuito di distribuzione distinto per le due zone ed un tratto in comune tra le due zone Z1 e Z2, che si connette ad un accumulo termico (schema unifilare), collegato a sua volta al sistema di generazione dal circuito generazione-accumulo (schema unifilare). La zona Z3 oltre ad avere il suo circuito finale di zona è servita in esclusiva da un circuito di distribuzione alla zona che la connette direttamente ad un accumulo termico, connesso a sua volta al generatore. Infine la zona Z4, oltre ad avere il suo circuito finale di zona, sempre presente, è collegata dal circuito di distribuzione alla zona direttamente al generatore. In questo esempio manca il circuito di distribuzione primaria, che è invece evidenziato in Figura 8.6.

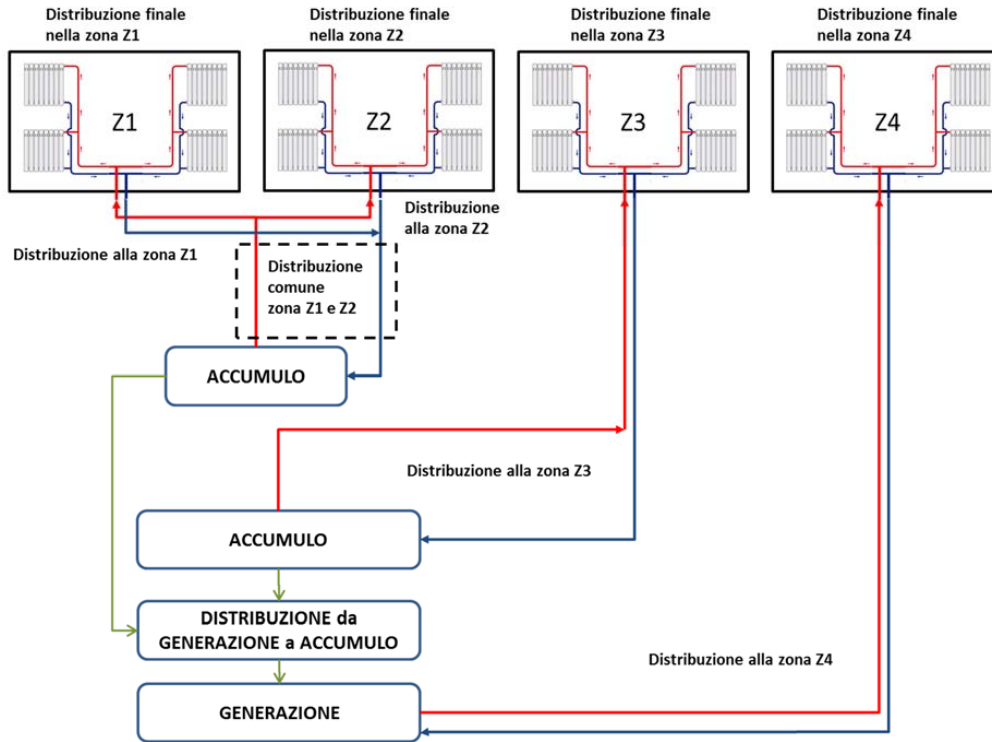


Figura 8.5 – Schema possibili combinazioni circuiti di distribuzione

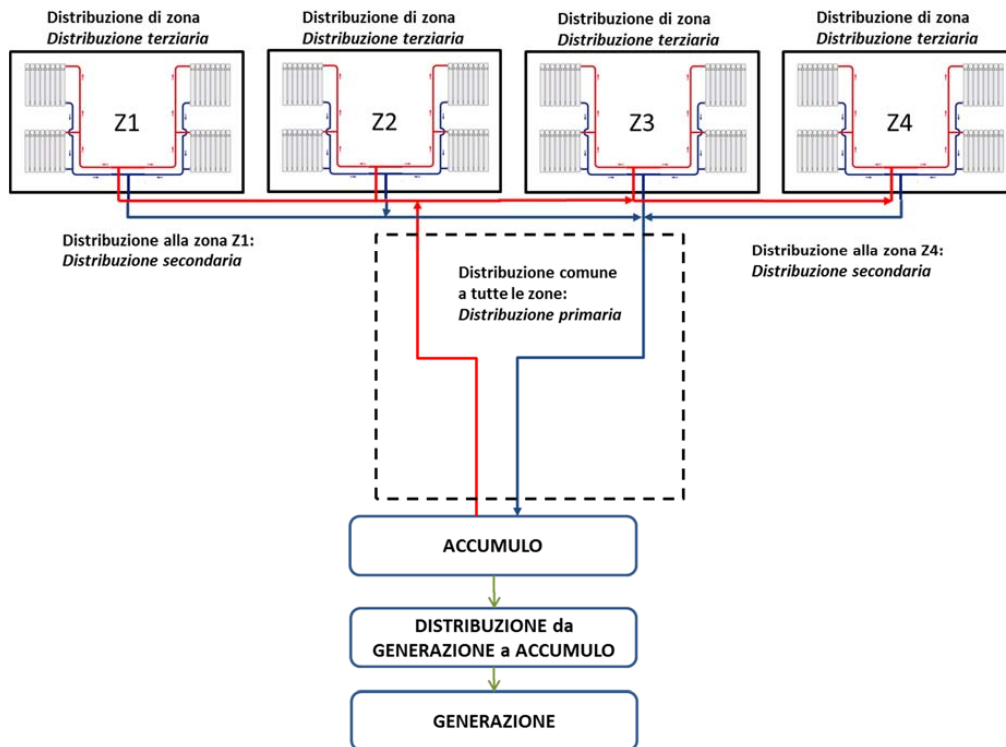


Figura 8.6 – Schema dei livelli dei circuiti di distribuzione idronici

### 8.5.1 Circuito di distribuzione finale nella zona: distribuzione terziaria

L'energia termica richiesta mensilmente dalla zona i-esima al sistema di distribuzione idronico del sottosistema j-esimo della zona è data da:

$$Q_{H,d3,out,i,j} = Q_{NH,adj,i,j}^* + Q_{H,e,ls,i,j} - k_{H,e,i,j} \cdot W_{H,e,i,j} \quad (8.38)$$

dove:

- $Q_{H,d3,out,i,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione j-esimo della zona i-esima (circuito terziario), [kWh];
- $Q_{NH,adj,i,j}^*$  è il fabbisogno di energia termica sensibile netto corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona termica i-esima soddisfatto dalla tipologia d'impianto j-esima, [kWh];
- $Q_{H,e,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione j-esimo nella zona i-esima, [kWh];
- $k_{H,e,i,j}$  è la frazione recuperata direttamente dal fluido termovettore dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di emissione j-esimo nella zona i-esima; nel caso specifico si può considerare sempre il valore 1 giacché, se presenti, gli ausiliari degli emettitori sono quasi sempre all'interno degli ambienti riscaldati;
- $W_{H,e,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di emissione j-esimo nella zona i-esima, [kWh].

La perdita termica netta di processo del circuito terziario del sottosistema j-esimo della zona i-esima si calcola, di norma, attraverso la determinazione delle perdite come riportato in Appendice J, ed è data da :

$$Q_{H,d3,ls,net,i,j} = Q_{H,d3,ls,i,j} - k_{H,d3,i,j} \cdot W_{H,d3,i,j} = (Q_{d,ls} - Q_{d,ls,rvd,i,j}) - k_{H,d3,i,j} \cdot W_{H,d3,i,j} \quad (8.39)$$

dove:

- $Q_{H,d3,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito j-esimo della zona i-esima, [kWh];
- $k_{H,d3,i,j}$  è la frazione recuperata direttamente dal fluido termovettore dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del circuito terziario di distribuzione del sistema j-esimo nella zona i-esima: si assume pari a 0,85 per fluido termovettore acqua solo se la perdita termica viene calcolata con l'equazione (8.42), se invece si usa l'equazione (8.45) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti del § 8.5.4, si assume pari a zero;
- $W_{H,d3,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del circuito j-esimo di distribuzione finale (terziario) nella zona i-esima, [kWh];
- $Q_{d,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito terziario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.1), [kWh];
- $Q_{d,ls,rvd,i,j}$  è la perdita termica recuperata del circuito terziario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.3), [kWh].

In alternativa all'equazione (8.39), in tutti quei casi che rispettano le condizioni al contorno specificate si può utilizzare l'equazione (8.45) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti di distribuzione riportati nel § 8.5.4.

Il fabbisogno di energia elettrica mensile del sottosistema di distribuzione terziario j-esimo della zona i-esima,  $W_{H,d3,i,j}$ , è dovuto alla eventuale presenza di pompe di circolazione e elettrovalvole, e si determina come riportato al § 8.5.5.

### 8.5.2 Circuito di distribuzione alla zona: distribuzione secondaria

L'energia termica richiesta mensilmente dalla distribuzione della zona i-esima al sottosistema di distribuzione j-esimo idronico alle zone è data da:

- a) se il sistema j-esimo della zona i-esima è servito in modo esclusivo da un unico circuito secondario

$$Q_{H,d2,out,j} = Q_{H,d3,out,j} + Q_{H,d3,ls,net,j} \quad (8.40)$$

dove:

$Q_{H,d2,out,i,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione secondario j-esimo della zona i-esima, [kWh];

$Q_{H,d3,out,i,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione terziario j-esimo della zona i-esima, [kWh];

$Q_{H,d3,ls,net,i,j}$  è la perdita termica netta di processo del circuito j-esimo della zona i-esima, [kWh], calcolata con la (8.39);

- b) se il sistema j-esimo della zona i-esima è servito da un unico circuito secondario condiviso con altre zone

$$Q_{H,d2,out,k,j} = \sum_{i=1}^{N_z} (Q_{H,d3,out,i,j} + Q_{H,d3,ls,net,i,j}) \quad (8.41)$$

dove:

k è l'indice che identifica l'insieme delle zone che hanno in comune il circuito secondario del sistema di distribuzione j-esimo, [-];

$N_z$  è il numero di zone che hanno in comune il circuito secondario del sistema di distribuzione j-esimo, [-].

La perdita termica netta di processo del circuito secondario del sottosistema j-esimo della zona i-esima si calcola, di norma, attraverso la determinazione delle perdite come riportato in Appendice J, ed è data da :

$$Q_{H,d2,ls,net,j} = Q_{H,d2,ls,i,j} - k_{H,d2,i,j} \cdot W_{H,d2,i,j} = (Q_{d,js} - Q_{d,js,r,vd,i,j}) - k_{H,d2,i,j} \cdot W_{H,d2,i,j} \quad (8.42)$$

dove:

$Q_{H,d2,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito j-esimo della zona i-esima, [kWh];

$k_{H,d2,i,j}$  è la frazione recuperata direttamente dal fluido termovettore dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del circuito secondario di distribuzione del sottosistema j-esimo alla zona i-esima o all'insieme di zone j-esime: si assume pari a 0,85 per fluido termovettore acqua solo se la perdita termica viene calcolata con l'equazione (8.44), se invece si usa l'equazione (8.45) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti del § 8.5.4, si assume pari a zero;

$W_{H,d2,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del circuito secondario del sottosistema j-esimo di distribuzione nella zona i-esima, [kWh];

$Q_{d,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito secondario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.1), [kWh];

$Q_{d,ls,rvd,i,j}$  è la perdita termica recuperata del circuito secondario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.3), [kWh].

In alternativa all'equazione (8.42), in tutti quei casi che rispettano le condizioni al contorno specificate si può utilizzare l'equazione (8.45) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti del § 8.5.4.

Il fabbisogno di energia elettrica mensile del sottosistema di distribuzione secondario j-esimo della zona i-esima,  $W_{H,d2,i,j}$ , è dovuto alla eventuale presenza di pompe di circolazione e elettrovalvole, e si determina come riportato al § 8.5.5.

### 8.5.3 Circuito di distribuzione primario

L'energia termica richiesta mensilmente dalla distribuzione idronica alle zone (distribuzione secondaria) al circuito primario del sistema di distribuzione j-esima è data da:

$$Q_{H,d1,out,j} = \sum_{i=1}^{N_z} (Q_{H,d2,out,i,j} + Q_{H,d2,ls,net,i,j}) \quad (8.43)$$

dove:

$Q_{H,d1,out,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione primario j-esimo, [kWh];

$Q_{H,d2,out,i,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione secondario j-esimo della zona i-esima o del gruppo di zone j-esimo, [kWh];

$Q_{H,d2,ls,net,i,j}$  è la perdita termica netta di processo del circuito j-esimo della zona i-esima, [kWh], calcolata con la (8.42);

$N_z$  è il numero di zone servite da sottosistema di distribuzione primaria j-esimo.

La perdita termica netta di processo del circuito primario del sottosistema j-esimo della zona i-esima si calcola, di norma, attraverso la determinazione delle perdite come riportato in Appendice J, ed è data da :

$$Q_{H,d1,ls,net,i,j} = Q_{H,d1,ls,i,j} - k_{H,d1,i,j} \cdot W_{H,d1,i,j} = (Q_{d,ls} - Q_{d,ls,rvd,i,j}) - k_{H,d1,i,j} \cdot W_{H,d1,i,j} \quad (8.44)$$

dove:

$Q_{H,d1,ls,i,j,k}$  è la perdita termica di processo del sottosistema primario della distribuzione j-esima per la zona i-esima connesso all'accumulo k-esimo, [kWh];

$k_{H,d1,i,j,k}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema primario della distribuzione j-esima per la zona i-esima connesso all'accumulo k-esimo: si assume pari a 0,85 per fluido termovettore acqua solo se la perdita termica viene calcolata con l'equazione (8.44), se invece si usa l'equazione (8.45) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti del § 8.5.4, si assume pari a zero;

$W_{H,d1,i,j,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema primario della distribuzione j-esima per la zona i-esima connesso all'accumulo k-esimo, calcolato come riportato al § 8.5.3, [kWh];

$Q_{d,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito primario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.1), [kWh];

$Q_{d,ls,rvd,i,j}$  è la perdita termica recuperata del circuito primario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.3), [kWh].

In alternativa all'equazione (8.44), in tutti quei casi che rispettano le condizioni al contorno specificate si può utilizzare l'equazione (8.45) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti di distribuzione riportati nel § 8.5.4.

Il fabbisogno di energia elettrica mensile del sottosistema di distribuzione secondario j-esimo della zona i-esima,  $W_{H,d1,i,j}$ , è dovuto alla eventuale presenza di pompe di circolazione e elettrovalvole, e si determina come riportato al § 8.5.5.

#### 8.5.4 Rendimenti di distribuzione

Le perdite termiche nette di processo del circuito di tipo dx (terziario, secondario o primario) del sottosistema di distribuzione j-esimo,  $Q_{H,dx,ls,net,i,j}$  che serve la zona i-esima possono essere stimate, utilizzando i valori di rendimento precalcolati riportati Prospetto 8.VI, Prospetto 8.VII e Prospetto 8.VIII, come:

$$Q_{H,dx,ls,net,i,j} = Q_{H,dx,ls,i,j} - k_{H,dx,i,j} \cdot W_{H,dx,i,j} = \left( \frac{1}{\eta_{dH,i,j}} - 1 \right) \cdot Q_{H,dx,out,i,j} \quad (8.45)$$

dove:

$\eta_{dH,i,j}$  è il rendimento del sottosistema di distribuzione j-esimo della zona i-esima;

$Q_{H,d,out,i,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione j-esimo della zona i-esima, [kWh].

In merito all'utilizzo dei prospetti con i rendimenti di distribuzione precalcolati si deve tenere presente quanto segue:

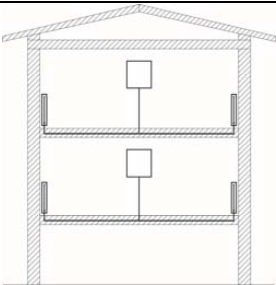
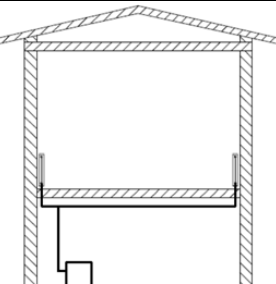
- i valori in essi contenuti si riferiscono solo alle tipologie di reti di distribuzione indicate in ciascun prospetto e possono essere utilizzati solo per reti delle tipologie indicate, tenuto conto delle condizioni di applicabilità specificate;
- le tipologie previste nei prospetti sono riferite a edifici o porzione di edifici con prevalente destinazione residenziale;
- i valori indicati nei prospetti considerano già i recuperi termici da dispersioni delle reti e di energia termica da energia elettrica ausiliaria.

Nei seguenti prospetti (da Prospetto 8.VI a Prospetto 8.VIII) sono considerati i seguenti livelli di isolamento:

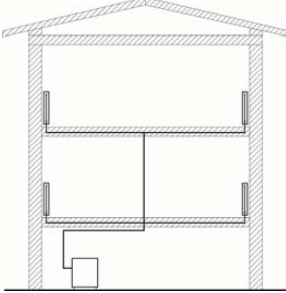
- A) isolamento con spessori conformi alle prescrizioni del DPR 412/93;
- B) isolamento discreto, di spessore non necessariamente conforme alle prescrizioni del DPR 412/93, ma eseguito con cura e protetto da uno strato di gesso, plastica o alluminio;



- C) isolamento medio, con materiali vari (mussola di cotone, coppelle) non fissati stabilmente da uno strato protettivo;
- D) isolamento insufficiente, gravemente deteriorato o inesistente;
- E) isolamento scadente o inesistente in impianti realizzati precedentemente all'entrata in vigore del DPR 412/93 (per esempio tubo preisolato con spessore ridotto o tubo nudo inserito in tubo corrugato).

 <p><b>1. Impianti autonomi con generatore unifamiliare in edificio condominiale</b></p>	I valori sono applicabili solo qualora le tubazioni corrano interamente all'interno della zona riscaldata, come nel caso di generatore interno all'appartamento				
	<b>Isolamento della rete di distribuzione orizzontale</b>				
	<b>A</b>	<b>E</b>			
1.1 Impianto autonomo a piano intermedio	0,99	0,99			
1.2 Impianto autonomo a piano terreno su ambienti non riscaldati e terreno con distribuzione monotubo	0,96	0,95			
1.3 Impianto autonomo a piano terreno su ambienti non riscaldati e terreno con distribuzione a collettori	0,94	0,93			
Nota: è escluso il caso su esterno o su pilotis; in tali casi si ricorra ai metodi analitici.					
 <p><b>2. Impianti autonomi in edificio singolo (1 piano)</b></p>	<b>Isolamento della rete di distribuzione orizzontale</b>				
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	
	2.1 Tubazioni correnti nel cantinato in vista	0,964	0,95	0,92	0,873
	2.2 Tubazioni incassate a pavimento con distribuzione monotubo	0,975	0,965	0,955	0,935
	2.3 Tubazioni incassate a pavimento con distribuzione a collettori	0,97	0,96	0,94	0,92

Prospetto 8.VI – Rendimenti di distribuzione,  $\eta_{dH}$  - Impianti di riscaldamento autonomi  
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

	<p>I valori sono riferiti alla porzione di impianto completamente interna all'appartamento. Le dispersioni del montante che alimenta le zone devono essere calcolate analiticamente secondo Appendice A, tenendo conto della temperatura media stagionale e caricate sulle singole zone in proporzione al fabbisogno di ciascuna di esse</p>	
	<p><b>Isolamento della rete di distribuzione orizzontale</b></p>	
<p><b>3. Impianti unifamiliari a zone in edificio condominiale.</b></p>	<p><b>A</b></p>	<p><b>E</b></p>
<p>3.1. impianto a zone al piano intermedio</p>	<p>0,99</p>	<p>0,99</p>
<p>3.2. impianto a zone al piano terreno su locali non riscaldati e terreno con distribuzione monotubo</p>	<p>0,96</p>	<p>0,95</p>
<p>3.3. impianto a zone al piano terreno su locali non riscaldati e terreno con distribuzione a collettori</p>	<p>0,94</p>	<p>0,93</p>

**Prospetto 8.VII – Rendimenti di distribuzione,  $\eta_{dH}$  - Impianti di riscaldamento a zone con distribuzione orizzontale, alimentati da montanti verticali (correnti solitamente nel vano scale)**  
 (Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

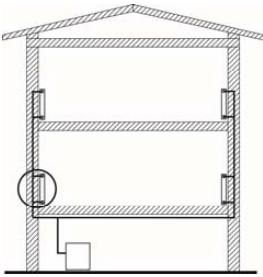
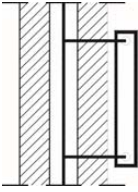
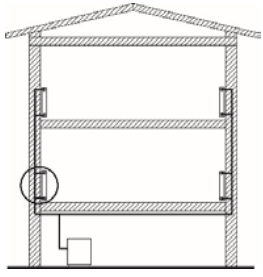
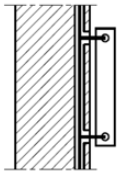
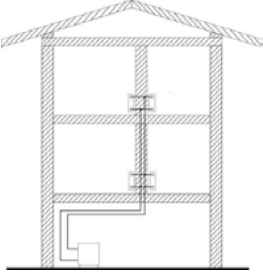
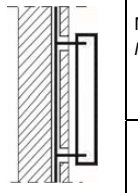
I valori riportati nei prospetti si riferiscono alla distribuzione con temperatura variabile, con temperature di mandata e ritorno di progetto di (80/60) °C. Per temperature di progetto differenti il rendimento di distribuzione si calcola come:

$$\eta_{dH,c} = 1 - (1 - \eta_{dH}) \cdot C \tag{8.46}$$

dove:

$\eta_{dH}$  è il rendimento di distribuzione non corretto ricavato dai prospetti precedenti, [-].

Per valori di temperature non indicate nei prospetti si procede con interpolazione lineare. I coefficienti di correzione del Prospetto 8.IX si basano sull'ipotesi che i tubi corrano in ambiente con temperatura media stagionale di 12,5 °C (e che quindi il  $\Delta t$  fra tubo e ambiente sia ottenuto sottraendo 12,5 °C al valore della temperatura media stagionale). Nel caso in cui le condizioni siano molto distanti da quelle ipotizzate, è necessario adeguare opportunamente il coefficiente di correzione.

 <p><b>4.1. Distribuzione orizzontale nel cantinato</b></p>	 <p>Montanti non isolati correnti nell'intercapedine dei muri esterni</p>	<b>Isolamento distribuzione orizzontale</b>			
		<b>Altezza edificio</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
	1 piano	0,964	0,950	0,920	0,873
	2 piani	0,933	0,924	0,901	0,866
	3 piani	0,929	0,923	0,906	0,879
4 piani e più	0,928	0,923	0,910	0,890	
 <p><b>4.2 Distribuzione orizzontale nel cantinato</b></p>	 <p>Montanti non isolati, correnti in traccia nel lato interno delle pareti esterne</p>	<b>Isolamento distribuzione orizzontale</b>			
		<b>Altezza edificio</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
	1 piano	0,966	0,952	0,922	0,875
	2 piani	0,938	0,929	0,906	0,871
	3 piani	0,937	0,931	0,914	0,887
4 piani e più	0,938	0,933	0,920	0,900	
 <p><b>4.3 Distribuzione orizzontale nel cantinato</b></p>	 <p>Montanti non isolati correnti in traccia nelle pareti interne <i>NOTA: applicabile anche nel caso di isolamento a cappotto.</i></p>	<b>Isolamento distribuzione orizzontale</b>			
		<b>Altezza edificio</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
	1 piano	0,970	0,958	0,932	0,889
	2 piani	0,985	0,979	0,966	0,944
	3 piani	0,990	0,986	0,977	0,963
4 piani e più	0,990	0,990	0,983	0,972	

Prospetto 8.VIII – Rendimenti di distribuzione,  $\eta_{dH}$  - Impianti di riscaldamento centralizzati tradizionali a montanti (comuni a più unità immobiliari) alimentati da distribuzione orizzontale (corrente solitamente a soffitto del piano cantinato) (Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

Temperature di mandata e di ritorno di progetto °C	Δt di progetto corrispondente °C	Temperatura media stagionale °C	Fattore di correzione C del rendimento tabulato -	Tipologia di impianto corrispondente (indicativa)
80-60	50	37,3	1,00	Impianti a radiatori
	45	36,0	0,94	
70-55	42,5	35,3	0,92	
	40	34,7	0,89	
	35	33,0	0,82	
55-45	30	31,4	0,77	Impianti a ventilconvettori
	25	29,8	0,69	
	20	27,9	0,62	
35-30	15	26,1	0,55	Impianti a pannelli radianti
	12,5	25,1	0,51	
	10	24,2	0,47	

Prospetto 8.IX – Fattori di correzione del rendimento di distribuzione  
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

### 8.5.5 Fabbisogno elettrico

L'energia elettrica assorbita dagli ausiliari (pompe) del generico circuito idronico x (terziario, secondario, primario) del sottosistema j-esimo, se presenti, si calcola come:

- la pompa è controllata dalla richiesta dell'utenza, indipendentemente dal tipo di controllo (portata variabile o on-off), :

$$W_{H,dx,i,j} = \sum_k \dot{W}_{H,dxk} \cdot FC_{e,i,j} \cdot \Delta t \quad (8.47)$$

- la pompa è controllata dalla modalità di funzionamento del generatore, indipendentemente dal tipo di controllo (portata variabile o on-off),:

$$W_{H,dx,i,j} = \sum_k \dot{W}_{H,dxk} \cdot FC_{g,i,j} \cdot \Delta t \quad (8.48)$$

- la pompa è sempre in funzione quando il servizio è erogato:

$$W_{H,dx,j} = \sum_k \dot{W}_{H,dxk} \cdot \Delta t \quad (8.49)$$

dove:

$W_{H,dx,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema x (terziario, o secondario, o primario) di distribuzione j-esimo nella zona i-esima, [kWh];

$\dot{W}_{H,dx,k}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto dalla pompa k-esima al servizio del sottosistema di distribuzione j-esimo nella zona i-esima, [W]; (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

- $FC_{e,i,j}$  è il fattore di carico del sottosistema j-esimo di emissione della zona i-esima, dato dalla (8.7);
- $FC_{g,i,j}$  è il fattore di carico utile del sottosistema di generazione che serve il sottosistema j-esimo della zona i-esima; dato dalla (11.18) o dalla (11.20);
- $\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

### 8.5.6 Potenza elettrica richiesta da una pompa

Nel caso non sia disponibile il dato sulla potenza elettrica di progetto di una generica pompa, questa può essere calcolata come:

$$\dot{W}_{po} = \frac{\Phi_{idr}}{\eta_{po}} \quad (8.50)$$

dove:

$\Phi_{idr}$  è la potenza idraulica richiesta, [W];

$\eta_{po}$  è il rendimento della pompa, [-].

La potenza idraulica è data da:

$$\Phi_{idr} = \frac{\rho \cdot \dot{V} \cdot H_{idr}}{367,2} \quad (8.51)$$

dove:

$\rho$  è la massa volumica dell'acqua presa pari a 1 [kg/dm<sup>3</sup>];

$\dot{V}$  è portata di acqua, [dm<sup>3</sup>/h];

$H_{idr}$  è la prevalenza richiesta, [m].

Il rendimento della pompa è desumibile dal Prospetto 8.X se la potenza della pompa è inferiore a 1000 W; per potenze maggiori o uguali ad 1000 W si considera un rendimento pari a 0,6.

Potenza idraulica	Rendimento della pompa <sup>1)</sup>
$\Phi_{idr} < 50 \text{ W}$	$\Phi_{idr}^{0,50} / 25,46$
$50 \text{ W} \leq \Phi_{idr} < 250 \text{ W}$	$\Phi_{idr}^{0,26} / 10,52$
$250 \text{ W} \leq \Phi_{idr} < 1.000 \text{ W}$	$\Phi_{idr}^{0,40} / 26,23$
1) Ciascuna formula di calcolo è relativa ad uno specifico tipo di elettroscopatore di più generale impiego nel campo di potenze indicato; per tale motivo le curve di rendimento presentano andamenti differenti	

**Prospetto 8.X – Curve di rendimento di elettroscopatori in funzione della potenza idraulica**  
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

## 8.6 Bilancio energetico del generico sottosistema di distribuzione aeraulico

Il sottosistema di distribuzione aeraulico può essere suddiviso, come il sottosistema idronico, in più circuiti aeraulici, con una differenza sostanziale: i circuiti aeraulici sono sostanzialmente dei circuiti aperti, cioè la portata d'aria immessa in un ambiente o zona termica può essere diversa dalla portata d'aria estratta dalla stesso locale o zona. Per tale motivo si adatterà nel seguito la seguente distinzione:

- condotte di distribuzione dell'aria trattata nell'ambiente o zona: *condotte di mandata*;
- condotte di prelievo dell'aria dall'ambiente o zona: *condotte di ripresa*.

Nel caso delle condotte di mandata è possibile identificare le seguenti diverse tipologie di reti:

- a) rete di distribuzione finale ai diffusori (emettitori) della zona (*distribuzione secondaria*);
- b) rete di distribuzione alle zone (*distribuzione primaria*);
- c) rete aria esterna: condotte di alimentazione della unità trattamento aria con aria esterna.

Nel caso delle condotte di ripresa è possibile identificare le seguenti diverse tipologie di reti:

- a) rete di ripresa secondaria: condotte di estrazione dagli ambienti della zona;
- b) rete di ripresa primaria: condotte di collegamento tra rete di ripresa secondaria e unità trattamento aria;
- c) rete di espulsione: condotte di espulsione di aria interna dall'unità trattamento aria.

Nel presente dispositivo con rete di distribuzione aeraulica si intende la sola rete di condotte di mandata alle zone e ambienti dell'aria trattata.

### 8.6.1 Portata d'aria

Le condotte d'aria non sono perfettamente stagne e in funzione della loro classe di tenuta alle fughe d'aria sono soggette a esfiltrazione, cioè a perdita di parte della massa d'aria trasportata. Ai fini del presente dispositivo, le perdite energetiche delle reti aerauliche legate alle perdite di massa delle condotte si considerano solo ai fini del calcolo della potenza elettrica dei ventilatori. Per cui, ad esclusione dello specifico caso citato, le portate d'aria circolanti nei vari rami della rete aeraulica considerata sono quelle definite dal progetto per la copertura dei fabbisogni termici dell'edificio e normalmente maggiori (o solo al limite uguali) a quelle necessarie per il mantenimento della qualità dell'aria (portate di ventilazione), così come definite al § 3.3.6.3.

Ai fini della determinazione delle portate medie giornaliere medie mensili circolanti nei vari tronchi delle condotte delle varie reti aerauliche, se queste non sono note, si può procedere, in modo semplificato, come segue:

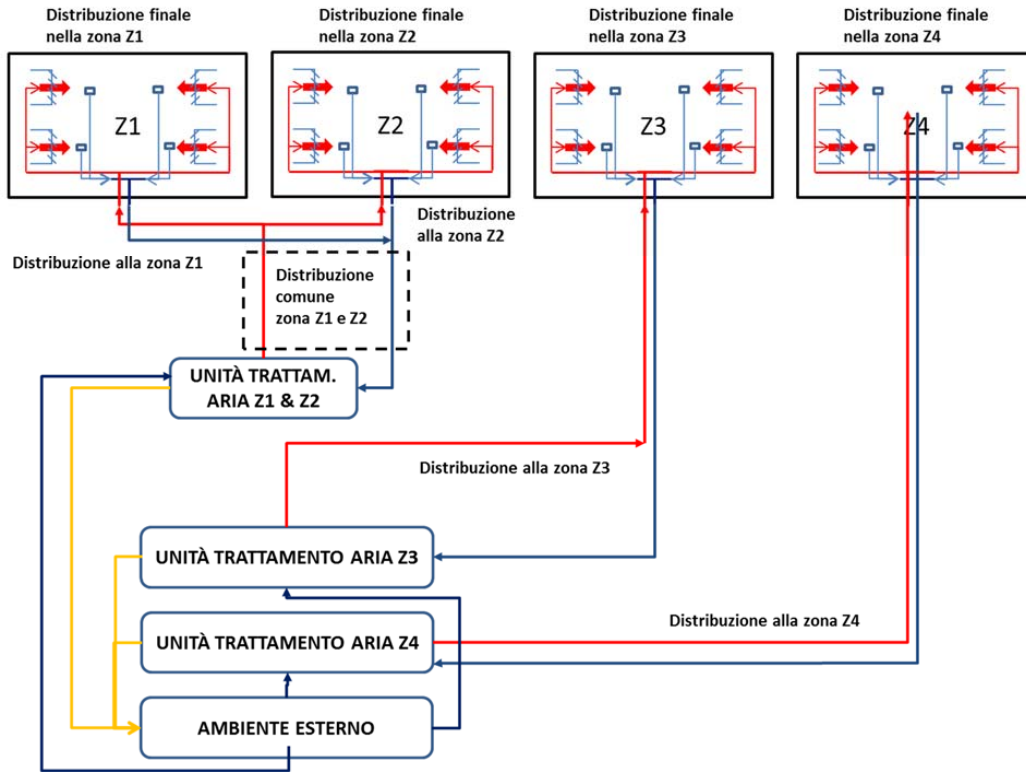


Figura 8.7 – Schema dei livelli dei circuiti di distribuzione aeraulici

**a) Impianti di riscaldamento e/o climatizzazione invernale a tutta aria**

In questo caso il fabbisogno termico sensibile della zona i-esima è coperto completamente dai terminali alimentati ad aria, da cui la portata d’aria media giornaliera media mensile per la compensazione del carico termico sensibile è determinata dalle modalità di funzionamento e dalla tipologia del sistema impiantistico che fornisce il servizio di riscaldamento e/o climatizzazione invernale (di seguito si usa il pedice X per il generico servizio, che sarà a seconda del caso H, solo riscaldamento, o HA, climatizzazione invernale) :

- **impianto a portata d’aria variabile:**

la temperatura dell’aria di immissione in ambiente è fissa ed è pari a quella di progetto ovvero a quella di set point impostata nel sistema di controllo,  $\theta_{im,des,i}$ , cioè:

$$\theta_{im,av,i} = \theta_{im,des,i} \tag{8.52}$$

la portata media giornaliera media mensile,  $\dot{V}_{X,s,av,i}$ , per la zona i-esima è data da:

$$\dot{V}_{X,s,av,i} = \frac{Q_{NH,adj,i}^*}{\rho_a c_a \cdot \Delta\theta_i \cdot \Delta t} \tag{8.53}$$

dove:

$Q_{NH,adj}^*$  è il fabbisogno nominale mensile di energia termica sensibile corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della i-esima zona, [kWh];

$\rho_a \cdot C_a$  è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 1.210 J/(m<sup>3</sup>K) a 20 °C;

$\Delta\theta_i$  è la differenza di temperatura media giornaliera tra la temperatura dell'aria trattata immessa nella zona,  $\theta_{im,av,i}$ , e la temperatura interna prefissata della zona termica considerata,  $\theta_i$  (si veda § 1.4), [°C];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Se oltre il servizio riscaldamento o climatizzazione invernale, l'impianto aerulico soddisfa contestualmente il servizio ventilazione meccanica occorre verificare quale delle due portate medie giornaliere medie mensili sia maggiore e assumere questa quale portata media giornaliera di immissione effettiva,  $\dot{V}_{X,im,i}$ , cioè:

$$\dot{V}_{X,im,i} = \max[\dot{V}_{X,s,av,i}; \dot{V}_{V,av,i}] \quad (8.54)$$

dove:

$\dot{V}_{X,s,av,i}$  è la portata media giornaliera per l'aria di immissione nella zona i-esima per il solo servizio riscaldamento o climatizzazione invernale, [m<sup>3</sup>/s];

$\dot{V}_{V,av,i}$  è la portata media giornaliera per l'aria di ventilazione nella zona i-esima per la sola ventilazione meccanica, [m<sup>3</sup>/s], calcolata come:

$$\dot{V}_{V,av,i} = \left( \sum_k (\dot{V}_{a,f} \cdot FC_v \cdot \alpha_k) \right)_i \quad (8.55)$$

con:

$\dot{V}_{a,f,k}$  è la portata nominale della ventilazione meccanica k-esima dovuta, [m<sup>3</sup>/s], così come definita dall'equazione (3.55);

$FC_v$  il fattore di efficienza della regolazione dell'impianto di ventilazione meccanica rilevabile dal Prospetto 3.XXIV, [-];

$\alpha_k$  è la frazione di ore settimanali in cui l'impianto di climatizzazione k-esimo soddisfa il servizio riscaldamento o climatizzazione invernale, paria a 1 per quanto riportato alla lettera e) del § 3.3.6.3.

$k$  è il singolo e specifico ricambio d'aria dovuto a ventilazione meccanica.

Se si verifica la condizione che la portata media giornaliera per il servizio ventilazione risulti maggiore della portata media giornaliera per il servizio climatizzazione, occorre ricalcolare il valore della temperatura di immissione dell'aria nella zona come:

$$\theta_{im,av,i} = \theta_i + \frac{Q_{NH,adj,i}^*}{\rho_a C_a \cdot \dot{V}_{V,av,i} \cdot \Delta t} \quad (8.56)$$

Se l'impianto prevede la possibilità di modificare la temperatura di immissione dell'aria e modificare la portata così come richiesto dal sistema di controllo della qualità dell'aria (se presente), si adotta la portata di ventilazione  $\dot{V}_{V,av,i}$  e la temperatura di immissione viene ricalcolata con l'equazione (8.56).



Se l'impianto non prevede la possibilità di modificare la temperatura di immissione dell'aria, la portata è quella determinata con l'equazione (8.53) e la temperatura di immissione quella di progetto,  $\theta_{im,des,i}$ . La conseguenza è il mancato rispetto delle condizioni di qualità dell'aria per alcuni periodi nel mese considerato.

- **impianto a portata d'aria costante e temperatura variabile:**

la temperatura è variabile nel tempo e incognita, occorre necessariamente conoscere la portata di progetto (se verifica delle prestazioni energetiche) o, per la certificazione energetica, misurare la portata o in modo diretto (misura della portata nelle condotte interessate) o indiretto (misura della portata erogata dal ventilatore e stima delle portate circolanti nei vari tratti della rete tramite calcolo delle relative perdite di carico). Nella documentata impossibilità di misurare la portata d'aria e limitatamente alla sola certificazione energetica, si può assumere la portata d'aria di progetto pari alla sola portata d'aria di ventilazione meccanica così come definita dalla equazione (8.55). Nota la portata di progetto  $\dot{V}_{X,s,des,i}$  ( $X= H$ , solo riscaldamento, o  $X = HA$ , climatizzazione invernale, la temperatura e la portata di immissione medie giornaliere sono pari a:

$$\theta_{im,av,i} = \theta_{i,i} + \frac{Q_{NH,adj,i}^*}{\rho_a c_a \cdot \dot{V}_{X,s,des,i} \cdot \Delta t} \quad (8.57)$$

$$\dot{V}_{X,im,i} = \dot{V}_{X,s,des,i} \quad (8.58)$$

- **impianto a portata d'aria e temperatura costanti con controllo ON-OFF:**

la temperatura è fissa ed è pari a quella di progetto ovvero a quella di set point impostata nel sistema di controllo, mentre la portata media giornaliera media mensile,  $\dot{V}_{X,s,av,i}$ , per la zona i-esima è data sempre dall'equazione (8.53) indipendentemente dal fatto che si controlli il ventilatore (ON-OFF sulla portata) o la batteria (ON-OFF sulla potenza termica da questa erogata); anche in questo caso se vi è contemporaneo servizio ventilazione occorre verificare quanto riportato per il caso con portata variabile (portata limite minima legata all'eventuale portata di ventilazione). Si ha quindi:

$$\theta_{im,av,i} = \theta_{im,des,i} \quad (8.59)$$

$$\dot{V}_{X,im,i} = \max[\dot{V}_{X,s,av,i}; \dot{V}_{V,av,i}] \quad (8.60)$$

- **impianto a portata d'aria variabile e temperatura variabile:**

è in realtà una combinazione in sequenza dell'impianto a portata costante e temperatura variabile e dell'impianto a portata variabile. In particolare, in regime di riscaldamento il sistema funziona inizialmente come un sistema a portata costante modulando la temperatura di mandata al crescere del carico termico fino ad un certo valore massimo di soglia,  $\theta_{im,max,i}$ ; da quel punto in poi un ulteriore crescita del carico termico viene compensata con aumenti di portata con temperatura di mandata fissa. Di conseguenza i parametri medi giornalieri media mensili si determinano nel seguente modo:

- 1) si calcola la temperatura media giornaliera media mensile considerando il sistema a portata costante pari al valore minimo di progetto,  $\dot{V}_{X,s,min,i}$ , ( $X= H$ , solo riscaldamento, o  $X = HA$ , climatizzazione invernale, che, se il sistema soddisfa anche il servizio ventilazione, deve

risultare maggiore o uguale alla portata richiesta per la ventilazione meccanica,  $\dot{V}_{v,av,i}$ , tramite l'equazione:

$$\theta_{im,av,i} = \theta_i + \frac{Q_{NH,adj,i}^*}{\rho_a c_a \cdot \dot{V}_{x,s,min,i} \cdot \Delta t} \quad (8.61)$$

2) si confronta tale valore di temperatura,  $\theta_{im,av,i}$ , con il valore massimo ammissibile,  $\theta_{im,max,i}$ , verificando in quale dei seguenti casi ci si trova:

a)  $\theta_{im,av,i} > \theta_{im,max,i} + 3^\circ\text{C}$  (8.62)

b)  $\theta_{im,max,i} - 3^\circ\text{C} \leq \theta_{im,av,i} \leq \theta_{im,max,i} + 3^\circ\text{C}$  (8.63)

c)  $\theta_{im,av,i} < \theta_{im,max,i} - 3^\circ\text{C}$  (8.64)

Nel caso a) si procede come se il sistema fosse a portata variabile e temperatura costante; si ha quindi:

$$\theta_{im,av,i} = \theta_{im,max,i} \quad (8.65)$$

$$\dot{V}_{x,im,i} \equiv \dot{V}_{x,s,av,i} = \frac{Q_{NH,adj,i}^*}{\rho_a c_a \cdot (\theta_{im,max,i} - \theta_i) \cdot \Delta t} > \dot{V}_{x,s,min,i} \quad (8.66)$$

Nel caso c) si procede come se il sistema fosse a portata costante e temperatura variabile; si ha quindi:

$$\theta_{im,av,i} = \theta_i + \frac{Q_{NH,adj,i}^*}{\rho_a c_a \cdot \dot{V}_{x,s,min,i} \cdot \Delta t} \quad (8.67)$$

$$\dot{V}_{x,im,i} \equiv \dot{V}_{x,s,min,i} \quad (8.68)$$

Nel caso b) siccome il sistema ha lavorato in parte a portata variabile e temperatura costante, in parte a portata costante e temperatura variabile, si adotta convenzionalmente la media aritmetica dei casi a) e c), cioè:

$$\theta_{im,av,i} = \frac{(\theta_{im,av,i})_a + (\theta_{im,av,i})_c}{2} \quad (8.69)$$

$$\dot{V}_{x,im,i} = \frac{(\dot{V}_{x,im,i})_a + (\dot{V}_{x,im,i})_c}{2} \quad (8.70)$$

**b) Impianti di riscaldamento misti (aria + terminali locali alimentati idronicamente)**

In questo caso il sistema impiantistico ad aria, di norma, copre il fabbisogno termico latente, mentre la copertura del fabbisogno termico sensibile viene demandata ai terminali idronici di zona. Questo è vero se e solo se l'impianto aeraulico, detto ad **aria primaria**, immette nella zona "aria neutra", cioè aria che si trova alla stessa temperatura dell'aria dell'ambiente, o meglio, del suo valore obiettivo (valore di set-point). In pratica, per motivi di efficacia della regolazione della temperatura ambiente, si introduce l'aria ad una temperatura inferiore a quella dell'ambiente da 2 a 4 °C; quasi mai a temperatura maggiore. In questo caso i terminali idronici non devono sopperire al solo fabbisogno termico sensibile della zona, ma anche alla

quota relativa all'introduzione in ambiente di un'aria più fredda di quella ambiente. Il sistema aeraulico e in particolare l'unità trattamento aria si preoccupano di compensare il carico latente e provvedere alla qualità dell'aria tramite l'introduzione di aria esterna (ventilazione). Di contro se si immette un'aria più calda di quella dell'ambiente (pratica sempre possibile anche se poco utilizzata), si ha che una parte del carico sensibile viene coperta anche dall'aria primaria oltre che dai terminali di zona.

La portata d'aria erogata dal sistema aeraulico è comunque in entrambi i casi di norma la portata necessaria per il servizio ventilazione, sempre associato al sistema di riscaldamento/climatizzazione invernale misto, e la temperatura di immissione è prefissata e mantenuta costante, da cui:

$$\theta_{im,av,i} = \theta_{im,des,i} \quad (8.71)$$

$$\dot{V}_{x,im,i} = \dot{V}_{v,av,i} \quad (8.72)$$

In casi particolari, in cui si impiega una portata dell'aria immessa nella zona maggiore di quella necessaria per la sola ventilazione, è sempre possibile sostituire alla portata di ventilazione, l'effettiva portata di progetto.

#### 8.6.1.1 Portata d'aria corretta

La portata d'aria che deve essere elaborata dal ventilatore deve essere corretta per tenere conto delle esfiltrazioni dalle condotte, correzione da applicare solo ai fini del calcolo del fabbisogno elettrico dei ventilatori e del fabbisogno di energia termica dell'unità trattamento aria. Tale correzione va applicata sia se la portata media giornaliera di immissione effettiva nella zona i-esima è stata stimata con l'equazione (8.54), sia se tale valore è noto dal progetto. La correzione non va applicata se e solo se sono già note dal progetto le portate che i ventilatori devono fornire comprensive di esfiltrazioni dalle condotte di distribuzione.

La portata corretta si calcola eventualmente come:

$$\dot{V}_{x,im,i}^* = \dot{V}_{x,im,i} + S \cdot \dot{V}_{ex,pm,i} / 3600 \quad (8.73)$$

dove:

$\dot{V}_{HV,im,i}^*$  è la portata d'aria media giornaliera corretta di immissione nella zona i-esima, [m<sup>3</sup>/s];

$\dot{V}_{HV,im,i}$  è la portata d'aria media giornaliera di immissione nella zona i-esima, [m<sup>3</sup>/s];

$\dot{V}_{ex,pm,i}$  è il valore della portata di massa di esfiltrazione della condotta, [m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)];

S la superficie laterale interna della condotta, [m<sup>2</sup>], che si calcola come S= D L, dove D è il diametro o il perimetro della condotta e L è la lunghezza del tratto considerato; qualora il diametro o il perimetro della condotta non sia noto, e solo per la certificazione energetica, può essere determinato con le procedure di cui al punto 2.3 dell'Appendice J

La portata di massa di esfiltrazione è calcolata in funzione della pressione totale, p, nella condotta e della classe di tenuta attribuita ai vari tratti, così come riportato nel Prospetto 8.XI per condotte rettangolari e

nel Prospetto 8.XII per condotte circolari. Come pressione totale si assume quella disponibile in uscita del ventilatore.

Classe di tenuta della condotta	$\dot{V}_{ex,pm}$ [m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )]	Tipo di valutazione
Classe A	$(0,027 * p^{0,65}) * 10^{-3}$	In mancanza di riferimenti
Classe B	$(0,009 * p^{0,65}) * 10^{-3}$	Se specificato nel progetto o se misurata
Classe C	$(0,003 * p^{0,65}) * 10^{-3}$	Se specificato nel progetto o se misurata
Classe D	$(0,001 * p^{0,65}) * 10^{-3}$	Se specificato nel progetto o se misurata

**Prospetto 8.XI – Perdita d’aria per condotte rettangolari metalliche**  
(Fonte: UNI EN 1507)

Classe di tenuta della condotta	$\dot{V}_{ex,pm}$ [m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )]	Tipo di valutazione
Classe A	$(0,027 * p^{0,65}) * 10^{-3}$	In mancanza di riferimenti
Classe B	$(0,009 * p^{0,65}) * 10^{-3}$	Se specificato nel progetto o se misurata
Classe C	$(0,003 * p^{0,65}) * 10^{-3}$	Se specificato nel progetto o se misurata
Classe D	$(0,001 * p^{0,65}) * 10^{-3}$	Se specificato nel progetto o se misurata

**Prospetto 8.XII – Perdita d’aria per condotte circolari metalliche**  
(Fonte: UNI EN 12237)

Classe di tenuta della condotta	$\dot{V}_{ex,pm}$ [m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )]	Tipo di valutazione
Classe A	$(0,027 * p^{0,65}) * 10^{-3}$	In mancanza di riferimenti
Classe B	$(0,009 * p^{0,65}) * 10^{-3}$	Se specificato nel progetto o se misurata
Classe C	$(0,001 * p^{0,65}) * 10^{-3}$	Se specificato nel progetto o se misurata

**Prospetto 8.XIII – Perdita d’aria per condotte non metalliche in materiale preisolato**  
(Fonte: UNI EN 13403)

In mancanza di informazioni o dati sulla pressione totale, per la sola certificazione energetica, si utilizzano i valori del Prospetto 8.XIV con la formula indicata per la classe di tenuta A

Classificazione	Pressioni indicative [Pa]	Note
Bassa pressione	300	In mancanza di riferimenti.
Media pressione	1200	Nei casi in cui vi siano sistemi di filtrazione finale o batterie di post- riscaldamento

**Prospetto 8.XIV – Classificazione della rete aeraulica in funzione della pressione totale**

### 8.6.2 Rete di distribuzione finale nella zona: distribuzione secondaria

L'energia termica richiesta mensilmente dalla zona i-esima al sistema di distribuzione aerulico del sottosistema j-esimo della zona è data (di seguito si usa il pedice X per il generico servizio, che sarà a seconda del caso H, solo riscaldamento, o HA, climatizzazione invernale) da:

$$Q_{X,da2,out,i,j} = Q_{NH,adj,i,j}^* + Q_{X,e,ls,i,j} - k_{X,e,i,j} \cdot W_{X,e,i,j} \quad (8.74)$$

dove:

- $Q_{X,da2,out,i,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione j-esimo della zona i-esima (rete secondaria), [kWh];
- $Q_{NH,adj,i,j}^*$  è il fabbisogno di energia termica sensibile netto corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona termica i-esima soddisfatto dalla tipologia d'impianto j-esima, calcolato con l'equazione (8.6), [kWh];
- $Q_{X,e,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione j-esimo nella zona i-esima, [kWh];
- $k_{X,e,i,j}$  è la frazione recuperata direttamente dal fluido termovettore dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di emissione j-esimo nella zona i-esima; nel caso specifico si può considerare sempre il valore 1 giacché, se presenti, gli ausiliari degli emettitori sono quasi sempre all'interno degli ambienti riscaldati;
- $W_{X,e,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di emissione j-esimo nella zona i-esima, [kWh].

La perdita termica netta di processo della rete secondaria del sottosistema j-esimo della zona i-esima si calcola, di norma, attraverso la determinazione delle perdite come riportato in Appendice J, ed è data da:

$$Q_{X,da2,ls,net,i,j} = Q_{X,da2,ls,i,j} - k_{X,da2,i,j} \cdot W_{X,da2,i,j} = (Q_{d,ls,i,j}) - k_{X,da2,i,j} \cdot W_{X,da2,i,j} \quad (8.75)$$

dove:

- $Q_{X,d2,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito j-esimo della zona i-esima, [kWh];
- $k_{X,d2,i,j}$  è la frazione recuperata direttamente dal fluido termovettore dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del circuito secondario di distribuzione del sottosistema j-esimo alla zona i-esima o all'insieme di zone j-esime: si assume pari a 0,9 per fluido termovettore aria solo se il motore del ventilatore è investito dal flusso d'aria, pari a 0.6 negli altri casi;
- $W_{X,d2,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del circuito secondario del sottosistema j-esimo di distribuzione nella zona i-esima, [kWh];
- $Q_{d,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo delle condotte della rete aerulica secondaria j-esima della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.93), [kWh].

Le perdite termiche dalle condotte aeruliche ai fini del presente dispositivo vengono considerate sempre non recuperabili.

Il fabbisogno di energia elettrica mensile del sottosistema di distribuzione aerulico secondario j-esimo della zona i-esima,  $W_{X,da2,i,j}$ , è dovuto alla eventuale presenza di ventilatori (di norma assenti, giacché localizzati nelle UTA), e si determina come riportato al §8.6.4.

### 8.6.3 Rete di distribuzione alle zone: distribuzione primaria

L'energia termica richiesta mensilmente dalla distribuzione aeraulica delle zone (distribuzione secondaria) alla rete primaria del sistema di distribuzione j-esima è data (di seguito si usa il pedice X per il generico servizio, che sarà a seconda del caso H, solo riscaldamento, o HA, climatizzazione invernale) da:

$$Q_{X,da1,outj} = \sum_{i=1}^{N_z} (Q_{X,da2,outi,j} + Q_{X,da2} s_{net,i,j}) \quad (8.76)$$

dove:

- $Q_{X,da1,outj}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione primario j-esimo, [kWh];
- $Q_{X,da2,outi,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione secondario j-esimo della zona i-esima, [kWh];
- $Q_{X,d2} s_{net,i,j}$  è la perdita termica netta di processo del circuito j-esimo della zona i-esima, [kWh], calcolata con la (8.75);
- $N_z$  è il numero di zone servite da sottosistema di distribuzione primaria j-esimo.

La perdita termica netta di processo della rete primaria del sottosistema j-esimo della zona i-esima si calcola, di norma, attraverso la determinazione delle perdite come riportato in Appendice J, ed è data da :

$$Q_{X,da1} s_{net,i,j} = Q_{X,da1} s_{i,j} - k_{X,da1,i,j} \cdot W_{X,da1,i,j} = (Q_{d,ls} )_{i,j} - k_{X,da1,i,j} \cdot W_{X,da1,i,j} \quad (8.77)$$

dove:

- $Q_{X,d1} s_{i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito j-esimo della zona i-esima, [kWh];
- $k_{X,d1,i,j}$  è la frazione recuperata direttamente dal fluido termovettore dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del circuito primario di distribuzione del sottosistema j-esimo alla zona i-esima o all'insieme di zone j-esime: si assume pari a 0,9 per fluido termovettore aria solo se il motore del ventilatore è investito dal flusso d'aria, pari a 0.6 negli altri casi;
- $W_{X,d1,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del circuito primario del sottosistema j-esimo di distribuzione nella zona i-esima, [kWh];
- $Q_{d,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo delle condotte della rete aeraulica primaria j-esima della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.93), [kWh];

Le perdite termiche dalle condotte aerauliche ai fini del presente dispositivo vengono considerate sempre non recuperabili.

Il fabbisogno di energia elettrica mensile del sottosistema di distribuzione aeraulico primario j-esimo della zona i-esima,  $W_{X,da1,i,j}$ , è dovuto alla eventuale presenza di ventilatori (di norma assenti, giacché localizzati nelle UTA), e si determina come riportato al §8.6.4.

### 8.6.4 Fabbisogno elettrico

In impianti con fluido termovettore aria, il fabbisogno di energia elettrica per la presenza di elettroventilatori si calcola come segue (di seguito si usa il pedice X per il generico servizio, che sarà a seconda del caso H, solo riscaldamento, o HA, climatizzazione invernale):

- sistemi con controllo on-off o modulante:

$$W_{X,da,j} = \sum_k \dot{W}_{X,da,k} \cdot FC_{f,i,j} \cdot \Delta t \quad (8.78)$$

- sistemi in cui il ventilatore è sempre in funzione:

$$W_{X,da,j} = \sum_k \dot{W}_{X,da,k} \cdot \Delta t \quad (8.79)$$

dove:

$\dot{W}_{X,da,k}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto del ventilatore k-esimo al servizio del sottosistema di distribuzione j-esimo nella zona i-esima, [W]; (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

$FC_{f,i,j}$  è il fattore di carico dell'unità ventilante del sistema j-esimo della zona i-esima, dato dalla (8.80);

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Il fattore di carico dell'unità ventilante,  $FC_f$ , è definito in modo diverso secondo il modo in cui viene attuato il controllo della portata:

- con variazione del numero di giri (controllo con inverter):

$$FC_f = \left( \frac{\dot{V}_{f,av}}{\dot{V}_{f,des}} \right)^3 \quad (8.80)$$

- tramite serrande (modifica della curva caratteristica resistente):

$$FC_f = \frac{f(\dot{V}_{f,av})}{f(\dot{V}_{f,des})} \quad (8.81)$$

dove:

$\dot{V}_{f,av}$  è la portata volumica media giornaliera media mensile richiesta alla distribuzione considerata o all'UTA, [m<sup>3</sup>/s];

$\dot{V}_{f,des}$  è la portata volumica di progetto della distribuzione considerata o dell'unità ventilante dell'UTA, [m<sup>3</sup>/s];

f() è la curva caratteristica del ventilatore potenza assorbita-portata volumica al numero di giri considerato, [W].

In assenza della curva caratteristica del ventilatore, nel solo caso di certificazione energetica o per i sistemi di sola ventilazione residenziale che servono un'unica unità immobiliare anche nel caso di verifica dei limiti di legge, il calcolo del fattore di carico può essere semplificato come:

$$FC_f = \dot{V}_{f,av} / \dot{V}_{f,des} \quad (8.82)$$

### 8.6.5 Potenza elettrica richiesta da un ventilatore

Nel caso non sia disponibile il dato sulla potenza elettrica di progetto di un generico ventilatore, questa può essere stimata:

- mediante misura della potenza assorbita a pieno carico;
- in base ai dati di targa corretti per le effettive condizioni di esercizio sulla curva caratteristica del ventilatore.

La potenza elettrica del ventilatore può essere infatti calcolata come:

$$\dot{W}_{ve} = \frac{\Phi_{aer}}{\eta_{ve}} \quad (8.83)$$

dove:

$\Phi_{aer}$  è la potenza aeraulica richiesta, [W];

$\eta_{ve}$  è il rendimento del ventilatore, ottenuto per le condizioni di impiego dalla curva caratteristica fornita dal produttore, se è un elettroventilatore, [-]; se invece è un ventilatore a cinghia, è il prodotto del rendimento totale del ventilatore,  $\eta_{v,tot}$  (così come derivabile dalla curva caratteristica) per il rendimento elettrico del motore  $\eta_{m,el}$ :

$$\eta_{ve} = \eta_{v,tot} \cdot \eta_{m,el} \quad (8.84)$$

con:

$$\eta_{v,tot} = f(\dot{V}) \quad (8.85)$$

dove:

$f(\dot{V})$  è la curva caratteristica del ventilatore rendimento-portata, per il numero di giri assegnato.

La potenza aeraulica è data da:

$$\Phi_{aer} = \dot{V} \cdot p_{tot} \quad (8.86)$$

dove:

$\dot{V}$  è portata d'aria, [m<sup>3</sup>/s];

$p_{tot}$  è la pressione totale da ottenere, [kPa].

Qualora non siano disponibili i dati di rendimento del ventilatore, si può ricorrere a misure elettriche in campo. In tal caso la potenza elettrica assorbita è data da:

$$W_{ve} = k \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (8.87)$$



dove:

$k$  è pari a:

1 nel caso di motori elettrici monofase;

1,73 nel caso di motori elettrici trifase;

$V$  è la tensione elettrica, [V];

$I$  è la corrente elettrica assorbita, [kA];

$\cos \phi$  è il coseno dell'angolo di sfasamento tra tensione e corrente, ovvero il fattore di potenza misurato in campo con appositi strumenti (cosfmetro o fasometro).

## 8.7 Bilancio energetico del generico sottosistema di accumulo termico idronico

Normalmente il servizio riscaldamento e/o climatizzazione invernale ha, se presente, un solo sottosistema di accumulo termico; è però possibile che si abbiano anche più sistemi di accumulo che servano insieme diversi di zone termiche. In generale quindi si ha, per l'insieme dei sistemi di accumulo termico, (di seguito si usa il pedice X per il generico servizio, che sarà a seconda del caso H, solo riscaldamento, o HA, climatizzazione invernale):

$$Q_{X,s,out} = \sum_{k=1}^{N_{sa}} Q_{X,s,out,k} = \sum_{k=1}^{N_{sa}} \sum_{i=1}^{N_{zj}} Q_{X,s,out,i,k} = \sum_{k=1}^{N_{sa}} \sum_{i=1}^{N_{zj}} \sum_{j=1}^{N_d} Q_{X,s,out,i,j,k} \quad (8.88)$$

dove:

$Q_{X,s,out,k}$  è l'energia termica richiesta complessivamente al sottosistema di accumulo k-esimo, [kWh];

$Q_{X,s,out,i,k}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di accumulo k-esimo dalla zona i-esima, [kWh];

$Q_{X,s,out,i,j,k}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di accumulo k-esimo dalla zona i-esima attraverso la distribuzione j-esima, [kWh];

$N_d$  è il numero di sottosistemi di distribuzione idronica che servono la zona i-esima connessi all'accumulo termico k-esimo, [-];

$N_{zj}$  è il numero di zone termiche che sono servite dal sottosistema di accumulo j-esimo, [-];

$N_{sa}$  è il numero di sottosistemi di accumulo del servizio riscaldamento o climatizzazione invernale, [-].

L'energia termica richiesta al sottosistema di accumulo termico idronico k-esimo,  $Q_{X,s,out,i,j,k}$ , che serve la zona i-esima tramite il sistema di distribuzione j-esimo è data da:

$$Q_{X,s,out,i,j,k} = Q_{X,d1,out,i,j,k} + Q_{X,d1,s,net,i,j,k} \quad (8.89)$$

dove:

$Q_{X,s,out,i,j,k}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di accumulo k-esimo per servire la zona i-esima tramite il sottosistema di distribuzione j-esimo, [kWh];

$Q_{X,d1,out,i,j,k}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema primario della distribuzione j-esima per la zona i-esima connesso all'accumulo k-esimo, [kWh];

$Q_{x,d1,ls,net,i,j,k}$  è la perdita termica netta di processo del sottosistema primario della distribuzione j-esima per la zona i-esima connesso all'accumulo k-esimo, [kWh], calcolata con la (8.44).

Le perdite del generico sottosistema di accumulo termico idronico k-esimo, sono calcolate secondo la:

$$Q_{x,s,ls,k} = K_{acc,k} \cdot (\theta_s - \theta_a)_k \cdot \Delta t \quad (8.90)$$

dove:

$Q_{x,s,ls,k}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo termico k-esimo, [kWh];

$K_{acc,k}$  è il valore di dispersione termica dell'accumulatore fornita dal costruttore, [W/K];

$\theta_s$  è la temperatura media nell'accumulo k-esimo, [°C];

$\theta_a$  è la temperatura media dell'aria dell'ambiente in cui l'accumulo k-esimo è installato, definita nel Prospetto 7.IV, [°C];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Qualora il costruttore indichi la perdita giornaliera di energia termica  $Q_{test}$  in kWh/giorno, misurata per una differenza di temperatura di test, il  $K_{acc}$  è ricavabile come:

$$K_{acc} = \frac{Q_{test}}{0,024 \cdot (\theta_{test,s} - \theta_{test,a})} \quad (8.91)$$

dove:

$\theta_{test,s}$  è la temperatura media nell'accumulo dichiarata dal costruttore, [°C];

$\theta_{test,a}$  è la temperatura ambiente del locale in cui è installato il serbatoio di accumulo nelle condizioni di prova dichiarate dal costruttore, [°C].

Ai soli fini della certificazione energetica, se non si dispone del dato di dispersione termica dell'accumulatore,  $K_{acc}$ , fornito dal costruttore, si esegue il calcolo secondo la:

$$Q_{x,s,ls} = S_s \cdot \frac{\lambda_s}{d_s} \cdot (\theta_s - \theta_a) \cdot \Delta t \quad (8.92)$$

dove:

$Q_{x,s,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo termico j-esimo che serve la zona i-esima, [kWh];

$S_s$  è la superficie esterna dell'accumulo, [m<sup>2</sup>];

$\lambda_s$  è la conduttività dello strato isolante, [W/mK];

$d_s$  è lo spessore dello strato isolante, [m];

$\theta_s$  è la temperatura media nell'accumulo, [°C];

$\theta_a$  è la temperatura media dell'aria dell'ambiente in cui l'accumulo è installato, definita nel Prospetto 7.IV, [°C];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Il fabbisogno di energia termica mensile del k-esimo sottosistema di accumulo termico idronico,  $Q_{X,s,in,k}$ , è quindi dato da:

$$Q_{X,s,in,k} = Q_{X,s,out,k} + Q_{X,s,l,k} \quad (8.93)$$

dove:

$Q_{X,s,out,k}$  è l'energia termica complessivamente richiesta al sottosistema di accumulo k-esimo, [kWh];

$Q_{X,s,l,k}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo termico k-esimo, [kWh].

La quota di energia richiesta dal sistema di distribuzione j-esimo della zona i-esima,  $Q_{X,s,in,i,j,k}$ , si determina come:

$$Q_{X,s,in,i,j,k} = Q_{X,s,in,k} \cdot \frac{Q_{X,s,out,i,j,k}}{\sum_{i=1}^{N_{z,k}} \sum_{j=1}^{N_{d,k}} Q_{X,s,out,i,j,k}} \quad (8.94)$$

dove:

$Q_{X,s,in,k}$  è il fabbisogno di energia termica mensile del k-esimo sottosistema di accumulo termico idronico, [kWh];

$Q_{X,s,out,k}$  è l'energia termica complessivamente richiesta al sottosistema di accumulo k-esimo, [kWh];

i è l'indice delle zone connesse all'accumulo k-esimo, [-];

j è indice del sistema di distribuzione servito dall'accumulo k-esimo, [-];

$N_{z,k}$  è il numero totale di zone connesse all'accumulo k-esimo, [-];

$N_{d,k}$  è il numero totale di distribuzioni connesse all'accumulo k-esimo, [-].

Il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di accumulo termico idronico k-esimo che serve la zona i-esima tramite il sottosistema di distribuzione j-esimo,  $W_{X,s,i,j,k}$ , è esclusivamente dovuto alla eventuale presenza di una pompa di circolazione nel circuito idronico tra l'accumulatore e uno scambiatore di calore, esterno all'accumulatore, che è interposto tra questo e il sistema di generazione (Figura 8.8). Il circuito idronico tra lo scambiatore e l'accumulatore è chiamato secondario, mentre il circuito idronico tra lo scambiatore e il sistema di generazione è chiamato primario. In tal caso è sempre presente una pompa di circolazione sia sul primario che sul secondario. Il fabbisogno elettrico della pompa sul primario è attribuito al sottosistema di distribuzione tra accumulo e generazione.

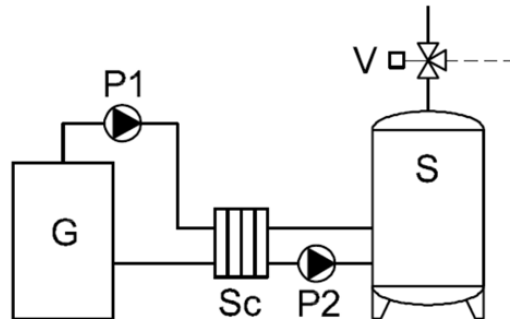


Figura 8.8 – Scambiatore di calore tra generazione e accumulo termico: pompa P2 sul secondario vista come ausiliario del sistema di accumulo termico.

Il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di accumulo termico idronico k-esimo è quindi dato dal prodotto tra la potenza di progetto complessiva dei circolatori di tipo P2 (Figura 8.8) e il loro tempo di funzionamento, secondo la relazione:

$$W_{X,s,i,j,k} = \left( \sum_{p=1}^{N_s} \dot{W}_{X,s,p} \cdot FC_{sc,p} \right)_k \cdot \Delta t \quad (8.95)$$

dove:

$W_{X,s,i,j,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di accumulo k-esimo che serve la zona i-esima tramite il sottosistema di distribuzione j-esimo, [kWh];

$\dot{W}_{X,s,p}$  è la potenza di progetto dell’ausiliario p-esimo al servizio del sottosistema di accumulo k-esimo dovuto alla presenza dello scambiatore di calore p-esimo, [W]; (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

$FC_{sc,p,k}$  è il fattore di carico dello scambiatore p-esimo che serve il sottosistema di accumulo k-esimo che alimenta la zona i-esima tramite il sottosistema di distribuzione j-esimo, [-]; tale fattore coincide con il fattore di carico del generatore che alimenta tale scambiatore;

$N_s$  è il numero di scambiatori di calore connessi all’accumulo k-esimo, [-];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh];

con

$$(FC_{sc,p})_k = \left( \frac{Q_{sc,p}}{\Phi_{sc,p} \cdot \Delta t} \right)_k \quad (8.96)$$

dove:

$Q_{sc,p}$  è l’energia termica ceduta nel periodo di calcolo dallo scambiatore p-esimo all’accumulatore k-esimo, [kWh];

$\Phi_{sc,p}$  è la potenza termica nominale dello scambiatore p-esimo dell’accumulatore k-esimo, [W];

con

$$Q_{sc,p} = Q_{G,out,k} \quad (8.97)$$

dove:

$Q_{G,out,k}$  è l'energia termica ceduta nel periodo di calcolo dal sistema di generazione k-esimo all'accumulatore k-esimo tramite lo scambiatore di calore p-esimo, [kWh].

### 8.8 Bilancio energetico mensile del sottosistema di distribuzione tra accumulo e generazione

Il circuito idronico di distribuzione tra sistema di generazione e accumulatore termico, tenendo presente che è possibile avere all'interno del sottosistema di generazione più generatori di tipologia diversa, può essere composto da più circuiti idraulici che collegano tali generatori all'accumulatore termico. Di conseguenza, in generale, il sottosistema di distribuzione tra sistema di generazione e accumulatore termico può essere composto da più circuiti in parallelo diversi tra loro e nel seguito verrà sinteticamente indicato con l'acronimo G-S. Inoltre di seguito si usa il pedice X per il generico servizio, che sarà a seconda del caso H, solo riscaldamento, o HA, ed eventualmente, nel caso di compresenza dei servizi H e HA, che facciano capo a una sola distribuzione, H+HA.

L'energia termica richiesta complessivamente al sottosistema di distribuzione G-S dall'accumulatore k-esimo è quindi data da:

$$Q_{X,g-s,out,k} = Q_{X,s,in,k} - Q_{X,s,aux,k} \quad (8.98)$$

dove:

$Q_{X,g-s,out,k}$  è l'energia termica richiesta complessivamente al sottosistema di distribuzione G-S dall'accumulo termico k-esimo, [kWh];

$Q_{X,s,in,k}$  è l'energia termica richiesta dal sottosistema di accumulo termico k-esimo così come calcolata con l'equazione (8.93), [kWh];

$Q_{X,s,aux,k}$  è l'energia termica recuperata dall'energia elettrica assorbita dagli ausiliari al servizio del sottosistema di accumulo k-esimo, [kWh];

con:

$$Q_{X,s,aux,k} = \Delta t \cdot \sum_{p=1}^{N_s} (k_{X,sc,p} \cdot \dot{W}_{X,sc,p} \cdot FC_{sc,p})_k \quad (8.99)$$

$K_{X,sc,p,k}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dalle pompe del circuito secondario tra scambiatore k-esimo e accumulatore termico j-esimo (se presente): si assume pari a 0,85 per fluido termovettore acqua solo se la perdita termica del circuito viene calcolata con l'equazione (8.44), se invece si usa l'equazione (8.45) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti del § 8.5.4, si assume pari a zero;

$FC_{sc,p}$  è il fattore di carico dello scambiatore p-esimo che serve il sottosistema di accumulo k-esimo, [-];

$\dot{W}_{X,sc,p}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto dell'ausiliario p-esimo al servizio del sottosistema di accumulo k-esimo, [W] (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa).

$N_s$  è il numero di scambiatori di calore connessi all'accumulo k-esimo, [-];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh];

L'energia termica richiesta ad ogni singolo circuito j-esimo componente il sottosistema di distribuzione G-S k-esimo sarà data invece dalla:

$$Q_{X,g-s,out,k,j} = f_{R,g-s,k,j} \cdot Q_{X,g-s,out,k} \quad (8.100)$$

dove:

$Q_{X,g-s,out,k,j}$  è l'energia termica richiesta al circuito j-esimo del sistema G-S k-esimo, [kWh];

$Q_{X,g-s,out,k}$  è l'energia termica richiesta complessivamente al sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [kWh];

$f_{R,g-s,k,j}$  è il fattore di ripartizione j-esimo dell'energia complessivamente richiesta al sottosistema G-S k-esimo, cioè la frazione coperta dal circuito j-esimo, [-].

Il fattore di ripartizione j-esimo dell'energia complessivamente richiesta al sottosistema G-S k-esimo, cioè la frazione coperta dal circuito j-esimo,  $f_{R,g-s,k,j}$ , è un dato che dipende dalla configurazione e dalle logiche di controllo dei sistemi di generazione collegati all'accumulatore k-esimo tramite i diversi circuiti.

Ai fini del presente dispositivo si considerano possibili solo i seguenti casi di circuiti in parallelo per il generico sottosistema G-S k-esimo:

- c) circuito tra accumulatore e sistema solare termico e tra accumulatore e caldaia o pompa di calore;
- d) circuito tra accumulatore e sistema cogenerativo e tra accumulatore e caldaia o pompa di calore

Caso a)

$$\begin{aligned} f_{R,X,g-s,k,sol} &= FS_X \\ f_{R,X,g-s,k,alt} &= 1 - FS_X \end{aligned} \quad (8.101)$$

dove:

$FS_X$  è la frazione solare del sistema solare termico che eventualmente alimenta il servizio riscaldamento e/o climatizzazione invernale, [-].

Caso b)

$$\begin{aligned} f_{R,X,g-s,k,sol} &= FC_X \\ f_{R,X,g-s,k,alt} &= 1 - FC_X \end{aligned} \quad (8.102)$$

dove:

$FC_X$  è la frazione dell'energia termica complessivamente richiesta coperta dal sistema cogenerativo che eventualmente alimenta il servizio riscaldamento e/o climatizzazione invernale, [-].

Le frazioni  $FS_X$  e  $FC_X$  dipendono dalle modalità di funzionamento dei generatori solare e cogenerativo e, quindi si rinvia agli specifici paragrafi, § 11.8.9 e § 11.10, per la loro determinazione che può essere anche iterativa.

Per il calcolo delle perdite termiche del singolo circuito j-esimo del sottosistema G-S k-esimo si considerano i seguenti casi:

d) distanza tra generatore e serbatoio di accumulo  $\leq 5$  m e tubazioni di collegamento isolate:

- le perdite si considerano trascurabili;

$$Q_{X,g-s,l_s,k,j} = 0 \quad (8.103)$$

e) distanza tra generatore e serbatoio di accumulo  $\leq 5$  m e tubazioni di collegamento non isolate:

- le perdite si calcolano in modo dettagliato secondo quanto riportato nell'Appendice J sulla base della temperatura media dell'acqua nel circuito primario;

$$Q_{X,g-s,l_s,k,j} = Q_{d,l_s} \quad (8.104)$$

f) distanza tra generatore e serbatoio di accumulo  $> 5$  m:

- calcolo come nel caso precedente.

La perdita termica complessiva per il sottosistema distribuzione G-S k-esimo è quindi data da:

$$Q_{X,g-s,l_s,k} = \sum_{j=1}^{N_c} Q_{X,g-s,l_s,k,j} \quad (8.105)$$

dove:

$N_c$  è il numero di circuiti presenti nel sottosistema di distribuzione G-S, [-].

Il fabbisogno di energia elettrica complessivo del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo,  $W_{X,g-s,k}$ , è dato dalla somma dei fabbisogni di energia elettrica dei singoli circuiti presenti,  $W_{X,g-s,k,j}$ , cioè:

$$W_{X,g-s,k} = \sum_{j=1}^{N_c} W_{X,g-s,k,j} \quad (8.106)$$

dove:

$W_{X,g-s,k,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica dagli ausiliari del j-esimo circuito presente nel sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [kWh];

$N_c$  è il numero di circuiti presenti nel sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [-].

Il fabbisogno di energia elettrica dello j-esimo circuito del sottosistema G-S k-esimo è dato dal prodotto tra la potenza complessiva degli ausiliari, in condizioni nominali di esercizio, e il tempo di funzionamento del circuito primario che coincide con il tempo di funzionamento del generatore ad esso collegato, secondo la relazione:

$$W_{X,g-s,k,j} = \sum_p \dot{W}_{X,g-s,k,j,p} \cdot FC_{gh,k,j} \cdot \Delta t \quad (8.107)$$

$\dot{W}_{X,g-s,k,j,p}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto dell'ausiliario p-esimo al servizio del j-esimo circuito del sottosistema G-S k-esimo, [W]; (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

$FC_{gh,k,j}$  è il fattore di carico utile medio mensile del generatore asservito al servizio riscaldamento o climatizzazione invernale collegato al circuito j-esimo che alimenta il sottosistema G-S k-esimo, [-].

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Il fattore di carico utile medio mensile del generatore asservito al servizio riscaldamento o climatizzazione invernale collegato al circuito j-esimo del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo si stima con la seguente formula:

$$FC_{gh,k,j} = \frac{Q_{X,g-s,out,k,j} + Q_{X,g-s,ls,k,j} - k_{X,g-s,k,j} \cdot W_{X,g-s,k,j}}{\Phi_{N,gh,j} \cdot \Delta t} \quad (8.108)$$

dove:

$Q_{X,g-s,out,k,j}$  è l'energia termica richiesta al j-esimo circuito del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [kWh];

$Q_{X,g-s,ls,k}$  è la perdita termica di processo del j-esimo circuito del sottosistema di G-S k-esimo, [kWh];

$k_{X,g-s,k,j}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del j-esimo circuito primario del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, assunta pari a 0,85;

$W_{X,g-s,k,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del j-esimo circuito del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [kWh];

$\Phi_{N,gh,j}$  è la potenza termica utile nominale del generatore termico collegato al j-esimo circuito del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [kWh];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Per ottenere il fabbisogno di energia elettrica del j-esimo circuito del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo si combinano le equazioni precedenti ottenendo:

$$W_{X,g-s,k,j} = \frac{\Delta t \cdot \sum_p \dot{W}_{X,g-s,k,j,p} \cdot (Q_{X,g-s,out,k,j} + Q_{X,g-s,ls,k,j})}{\Phi_{N,gh,j} \cdot \Delta t + k_{X,g-s,k,j} \cdot \Delta t \cdot \sum_p \dot{W}_{X,g-s,k,j,p}} = \frac{\sum_p \dot{W}_{X,g-s,k,j,p} \cdot (Q_{X,g-s,out,k,j} + Q_{X,g-s,ls,k,j})}{\Phi_{N,gh,j} + k_{X,g-s,k,j} \cdot \sum_p \dot{W}_{X,g-s,k,j,p}} \quad (8.109)$$



## 9 Fabbisogno di energia termica ed elettrica del servizio raffrescamento o climatizzazione estiva

Un servizio raffrescamento è realizzabile con modalità impiantistiche diverse, che pure assolvono alla medesima funzione, fornire energia termica agli ambienti delle zone al fine di mantenere la temperatura dell'aria interna al valore assegnato.

Un servizio di climatizzazione estiva è un servizio che comporta sia il controllo della temperatura dell'aria degli ambienti climatizzati, sia il controllo dell'umidità dell'aria; quindi un servizio di climatizzazione estiva è un servizio di raffrescamento con in più la funzione di controllo dell'umidità dell'aria.

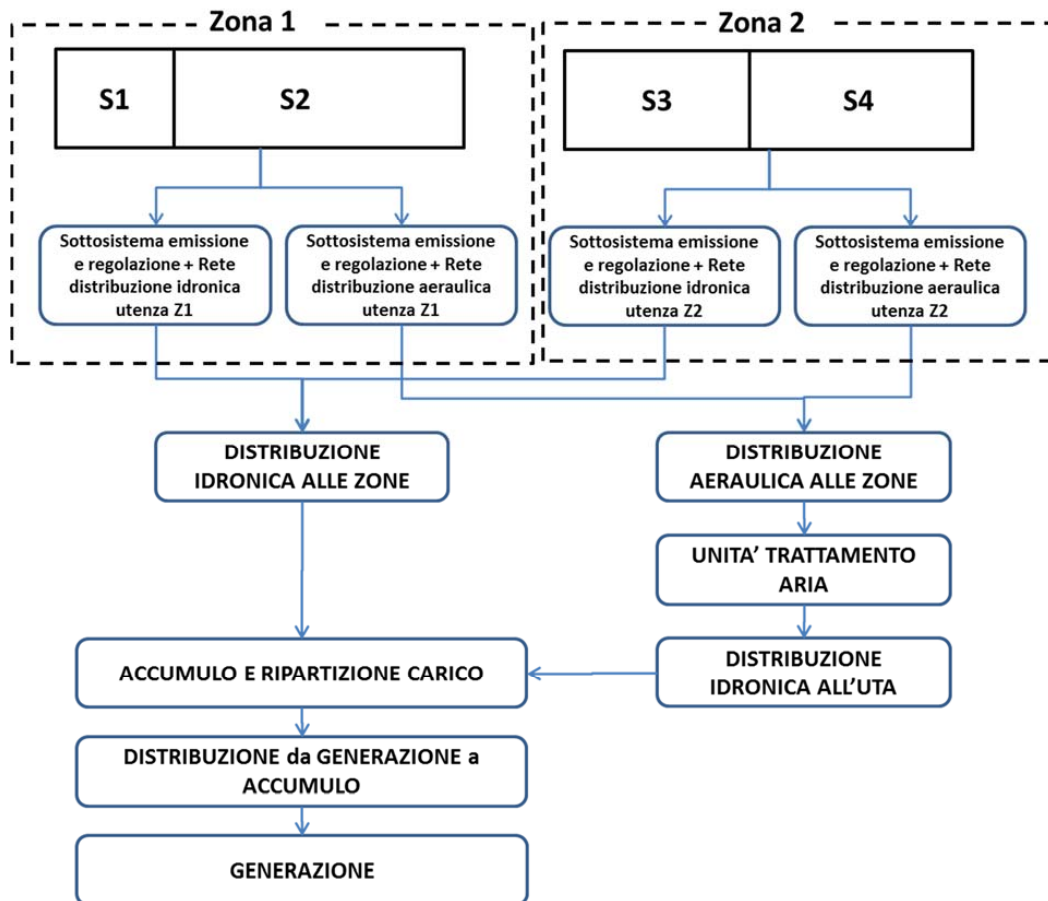


Figura 9.1 – Schema possibili combinazioni sottosistemi del servizio raffrescamento o climatizzazione estiva

Con riferimento alla Figura 9.1, il sistema impiantistico che serve le utenze finali consta sempre di una distribuzione finale alle utenze del fluido termovettore, ma può poi diversificarsi nei seguenti modi:

- a) distribuzione finale all'utenza delle zone solo idronica:  
i terminali d'impianto nella zona considerata sono solo alimentati da fluido termovettore liquido (solitamente acqua);
- b) distribuzione finale all'utenza delle zone solo aeraulica;  
i terminali d'impianto nella zona considerata sono solo alimentati da fluido termovettore aria;
- c) distribuzione finale all'utenza delle zone mista idronica-aeraulica:  
i terminali d'impianto nella zona considerata sono sia alimentati da fluido termovettore liquido sia da aria;
- d) distribuzione finale all'utenza delle zone attraverso fluido con transizione di fase (refrigerante):  
i terminali nella zona considerata sono alimentati da un fluido frigorifero che subisce nel terminale una transizione di fase (condensazione se in modalità riscaldamento, evaporazione se in modalità raffrescamento).

In funzione della tipologia dei terminali d'impianto e della distribuzione finale all'utenza delle zone, il sistema impiantistico sarà in grado di soddisfare il solo servizio raffrescamento o il servizio climatizzazione estiva (raffrescamento più umidificazione) o entrambi.

Il generico sistema impiantistico per servire le varie zone dispone di una rete di distribuzione alle zone del fluido termovettore, che, a seconda delle tipologie di distribuzione finale alle utenze, è o solo idronica, o solo aeraulica o sia idronica che aeraulica, oppure è costituita una rete che trasporta refrigerante. Tali reti possono essere comuni a più zone, così come essere dedicate a ciascuna zona servita.

Quando è presente una distribuzione aeraulica alle zone, sarà sempre presente almeno un sottosistema costituito dall'unità trattamento aria (UTA) che normalmente è alimentata a sua volta da un circuito idronico interconnesso con il sistema di generazione di energia termica (anche, eventualmente, tramite un sottosistema di accumulo termico), oppure un ventilconvettore canalizzato o sistemi ad espansione diretta canalizzati.

Il generico sistema impiantistico viene quindi suddiviso in sottosistemi funzionali, che possono essere interconnessi in vari modi e che sono identificati come:

- a) sottosistema di emissione (idronico e/o aeraulico);
- b) sottosistema di distribuzione (idronica e/o aeraulica);
- c) sottosistema unità trattamento aria (UTA) o ventilconvettore o unità ad espansione diretta canalizzati;
- d) sottosistema di accumulo termico;

- e) sottosistema di distribuzione tra sottosistema di accumulo e di generazione;
- f) sottosistema di generazione.

In presenza di un sistema impiantistico che utilizza una distribuzione finale all'utenza delle zone attraverso fluido con transizione di fase (caso d delle tipologie di distribuzione), ad esempio sistemi VRV (volume di refrigerante variabile), sistemi multi-split, ecc., ma anche nel caso di sistemi autonomi d'ambiente (condizionatori d'aria split, unità monoblocco ad espansione diretta ad armadio, unità monoblocco ad espansione diretta da finestra, ecc.), il sistema impiantistico consta solo dei seguenti sottosistemi:

- a) sottosistema di emissione;
- b) sottosistema di generazione;

in quanto tutte le perdite dei sottosistemi intermedi (ad esempio le perdite del sistema di distribuzione del fluido con transizione di fase) sono contenute nel coefficiente di prestazione dell'apparato di generazione.

Si ha un unico servizio raffrescamento o climatizzazione estiva quando una o una pluralità di utenze vengono servite da un unico sistema di generazione di energia termica a tale scopo dedicato, tramite una composizione anche plurima di sottosistemi di emissione, distribuzione, UTA o ventilconvettore o unità ad espansione diretta canalizzati, accumulo e distribuzione primaria, cioè da uno o più sistemi impiantistici.

Fa eccezione il caso di sistemi impiantistici che servono un unico ambiente utilizzando unità di generazione autonome (condizionatori d'aria split, unità monoblocco ad espansione diretta ad armadio, unità monoblocco ad espansione diretta da finestra, ecc.). In tal caso, l'unità immobiliare resta il riferimento formale per la determinazione della prestazione energetica, mentre i singoli ambienti dotati di unità con generatore autonomo costituiscono zone termiche separate alimentate direttamente da generatori distinti. Gli ambienti dell'unità immobiliare non dotati di sistemi di condizionamento dall'aria autonomi vengono considerati ambienti a temperatura non controllata e le loro superfici in pianta sono desunte dall'area utile dell'unità immobiliare usata per la normalizzazione dell'indice di efficienza energetica.

Nel caso applicazione del presente dispositivo alla certificazione energetica, il calcolo viene esemplificato considerando gli ambienti dotati di condizionatori autonomi un'unica zona termica, gli ambienti non dotati di condizionatori autonomi un unico ambiente a temperatura non controllata e la zona termica servita da un'unica macchina che ha come potenza nominale la somma delle potenze nominali delle macchine installate e come prestazione quella relativa alla macchina di prestazione inferiore.

### **9.1 Energia termica richiesta al servizio di raffrescamento e di climatizzazione estiva**

Per il calcolo dell'energia termica richiesta dal sistema di raffrescamento e/o climatizzazione estiva al sottosistema di generazione, occorre innanzitutto individuare se siano presenti più ramificazioni d'impianto

che confluiscono in un'unica o più centrali termiche, il cui insieme costituisce il sistema di generazione dell'energia termica richiesta. Nel presente dispositivo si intende infatti con il termine centrale termica quella parte del sistema edilizio dedicata all'accoglimento degli apparati di generazione di energia termica; mentre con il termine sistema di generazione si intende l'insieme funzionale di tutti gli apparati di generazione di energia termica asserviti ad un unico servizio indipendentemente dalla loro localizzazione nel sistema edilizio.

Il sottosistema di emissione e, in parte, di distribuzione possono essere differenti sia all'interno della stessa zona che in funzione delle diverse zone servite; così come l'eventuale sistema d'accumulo se presente.

Si possono individuare i seguenti sotto casi:

- a) un unico sistema impiantistico, che serve un'unica zona termica, alimentato da un'unica centrale termica;
- b) un unico sistema impiantistico, che serve più zone termiche, alimentato da un'unica centrale termica;
- c) un unico sistema impiantistico, che serve più zone termiche, alimentato da più centrali termiche;
- d) più sistemi impiantistici (diversi tra loro come tipologia), che servono la stessa zona termica, alimentati dalla stessa centrale termica;
- e) più sistemi impiantistici (diversi tra loro come tipologia), che servono la stessa zona termica, alimentati da diverse centrali termiche;
- f) più sistemi impiantistici (diversi tra loro come tipologia), che servono più zone termiche, alimentati dalla stessa centrale termica;
- g) più sistemi impiantistici (diversi tra loro come tipologia), che servono più zone termiche, alimentati da diverse centrali termiche.

Il caso più generale, che comprende tutti gli altri casi, è il caso g), che può essere visto come una composizione di più casi d) (uno per ogni centrale termica), il quale a sua volta non è altro che un'applicazione multipla del caso b), come l'esempio schematizzato in Figura 9.2, dove abbiamo un sistema impiantistico di tipologia A con due ramificazioni 1 e 2 che servono due zone distinte, e un sistema impiantistico di tipologia B che serve altre due zone con i suoi due ramificazioni 1 e 2.

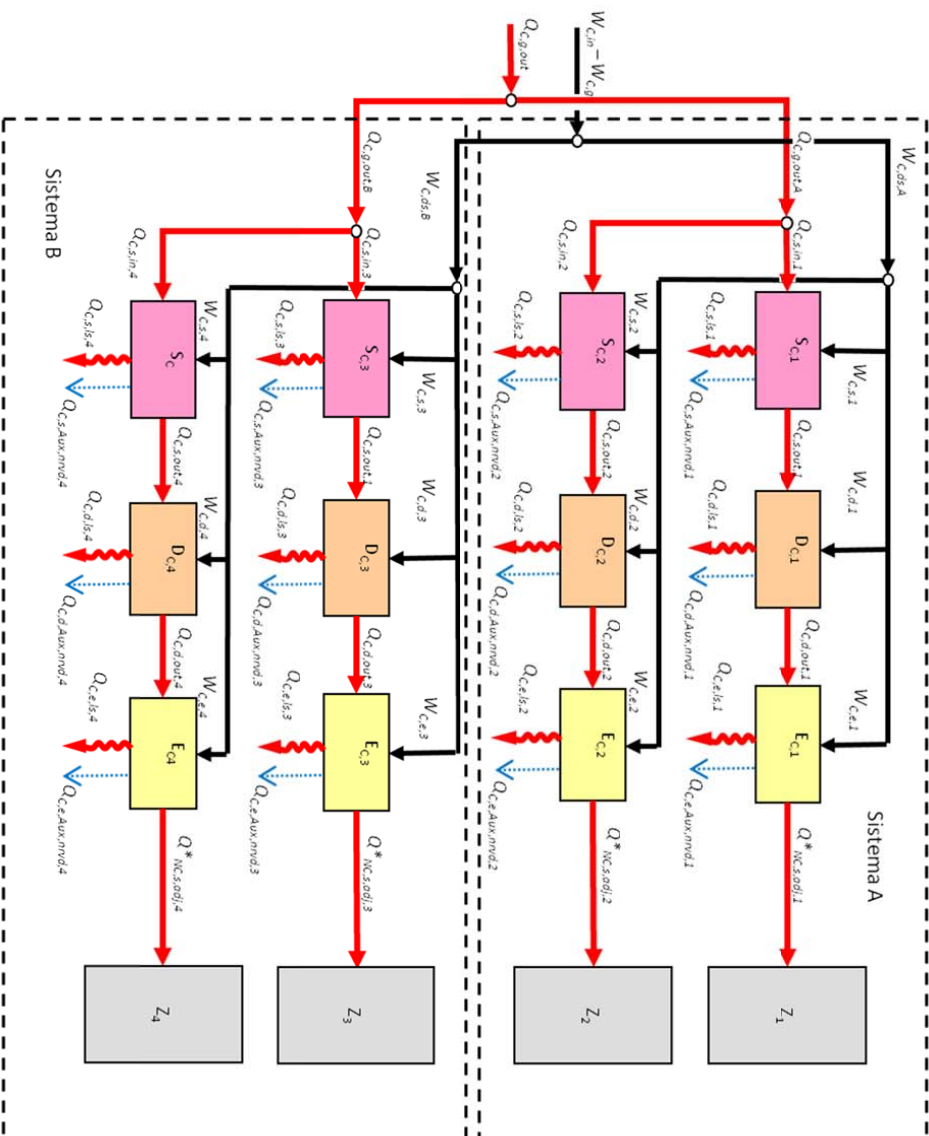


Figura 9.2 – Caso f) con due sistemi impiantistici diversi che servono diverse zone

## 9.2 Fabbisogno termico lordo di energia per il raffrescamento e la climatizzazione estiva

Il fabbisogno termico lordo annuo complessivo per il raffrescamento (sistemi di raffrescamento idronici) si determina come:

$$Q_{C,g,out} = \sum_{m=1}^{12} Q_{C,g,out,m} \quad (9.1)$$

dove:

$Q_{C,g,out,m}$  è la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per il raffrescamento, [kWh];

$m$  numero del mese.

Il fabbisogno termico lordo annuo complessivo per la climatizzazione estiva (sistemi di raffrescamento ad aria e umidificazione dell'aria) si determina come:

$$Q_{CA,g,out} = \sum_{m=1}^{12} Q_{CA,g,out,m} \quad (9.2)$$

dove:

$Q_{CA,g,out,m}$  è la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per la climatizzazione estiva, [kWh];

$m$  numero del mese.

Il fabbisogno termico lordo mensile complessivo, ovvero la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per il raffrescamento e/o la climatizzazione estiva, si calcola distintamente per ogni  $i$ -esima zona termica dell'edificio e si somma sulle zone ottenendo:

$$Q_{C,g,out,m} = \sum_{i=1}^{N_z} Q_{C,g,out,m,i} \quad (9.3)$$

$$Q_{CA,g,out,m} = \sum_{i=1}^{N_z} Q_{CA,g,out,m,i} \quad (9.4)$$

dove:

$Q_{C,g,out,m,i}$  è la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per il raffrescamento da parte dell' $i$ -esima zona, [kWh];

$Q_{CA,g,out,m,i}$  è la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per la climatizzazione estiva da parte dell' $i$ -esima zona, [kWh];

$N_z$  numero di zone.

Se il sistema è dedicato a un'unica utenza di solo raffrescamento con terminali idronici, così come schematizzato in Figura 9.3 per un sistema con distribuzione puramente idronica e accumulo termico, la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione è data dalla (9.5):

$$Q_{C,g,out,m} = \left[ Q_{NC,adj}^* \right]_m + \left[ Q_{C,e,ls} + k_{C,e} \cdot W_{C,e} + Q_{C,d,ls} + k_{C,d} \cdot W_{C,d} + Q_{C,s,ls} + k_{C,s} \cdot W_{C,s} + Q_{C,g-s,ls} - k_{C,g-s} \cdot W_{C,g-s} \right]_m \quad (9.5)$$

dove:

- $Q_{NC,adj}^*$  è il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto per il raffreddamento o la climatizzazione estiva, [kWh];
- $Q_{C,e,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione, [kWh];
- $k_{C,e}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di emissione, il cui valore si determina come indicato al § 9.6.1;
- $W_{C,e}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di erogazione, [kWh];
- $Q_{C,d,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di distribuzione idronica, [kWh];
- $k_{C,d}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di distribuzione idronica, il cui valore si determina come indicato al § 9.6.2 e/o al § 9.6.3;
- $W_{C,d}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione idronica, [kWh];
- $Q_{C,s,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo, [kWh];
- $k_{C,s}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di accumulo;
- $W_{C,s}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di accumulo, [kWh];
- $Q_{C,g-s,ls}$  è la perdita termica di processo della distribuzione tra il sottosistema di accumulo e generatore termico, [kWh];
- $k_{C,g-s}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di distribuzione tra sottosistema di generazione e quello di accumulo;
- $W_{C,g-s}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione tra sottosistema di generazione e quello di accumulo termico, [kWh];
- j indice del circuito tra accumulatore e generatore j-esimo;
- m indice del mese.

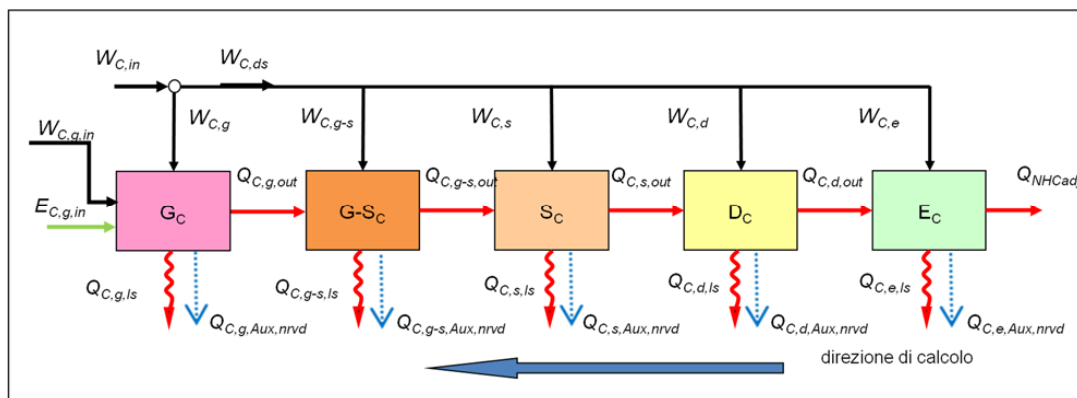


Figura 9.3 – Schema funzionale sottosistemi del servizio raffreddamento idronico con accumulo termico

Se il sistema è dedicato a un'unica utenza di climatizzazione estiva con terminali aeraulici, così come schematizzato in Figura 9.4 per un sistema con un'UTA, distribuzione aeraulica e idronica e accumulo termico, la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione è data dalla (9.6):

$$Q_{CA,g,out,m} = [Q_{CA,UTA,in}]_m + [Q_{CA,d,ls} - k_{CA,d} \cdot W_{CA,d} + Q_{CA,s,ls} - k_{CA,s} \cdot W_{CA,s} + Q_{CA,g-s,ls} - k_{CA,g-s} \cdot W_{CA,g-s}]_m \quad (9.6)$$

avendo determinato la richiesta di energia termica "sensibile" all'UTA come:

$$Q_{CA,UTA,out,m} = Q_{NC,adj,m}^* + [Q_{CA,e,ls} - k_{CA,e} \cdot W_{CA,e} + Q_{CA,da,ls} - k_{CA,da} \cdot W_{CA,da}]_m \quad (9.7)$$

dove:

$Q_{CA,UTA,in}$  è l'energia termica che viene richiesta dal sottosistema trattamento dell'aria (UTA) per compensare sia il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto,  $Q_{NC,adj}^*$ , sia il fabbisogno nominale di energia termica "latente",  $Q_{Nh,hum}$ , [kWh], in funzione di quanto determinato con la (9.7);

$Q_{CA,UTA,out,m}$  è l'energia termica che viene richiesta al sottosistema trattamento dell'aria (UTA) per compensare il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto,  $Q_{NC,adj}^*$ , [kWh];

$Q_{NC,adj}^*$  è il fabbisogno nominale di energia termica sensibile corretto per il raffrescamento o la climatizzazione estiva, [kWh];

$Q_{CA,e,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione aeraulico, [kWh];

$k_{CA,e}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di emissione aeraulico, il cui valore si determina come indicato al §9.6.1 ;

$W_{CA,e}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di erogazione aeraulico, [kWh];

$Q_{CA,da,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di distribuzione aeraulica, [kWh];

$k_{CA,da}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di distribuzione aeraulica, il cui valore si determina come indicato al §9.6.2 o 9.6.3;

$W_{CA,da}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione aeraulica, [kWh];

gli altri termini dell'equazione (9.6) hanno lo stesso significato dell'equazione (9.3), solo che sono riferiti ai sottosistemi idronici del sistema aeraulico.

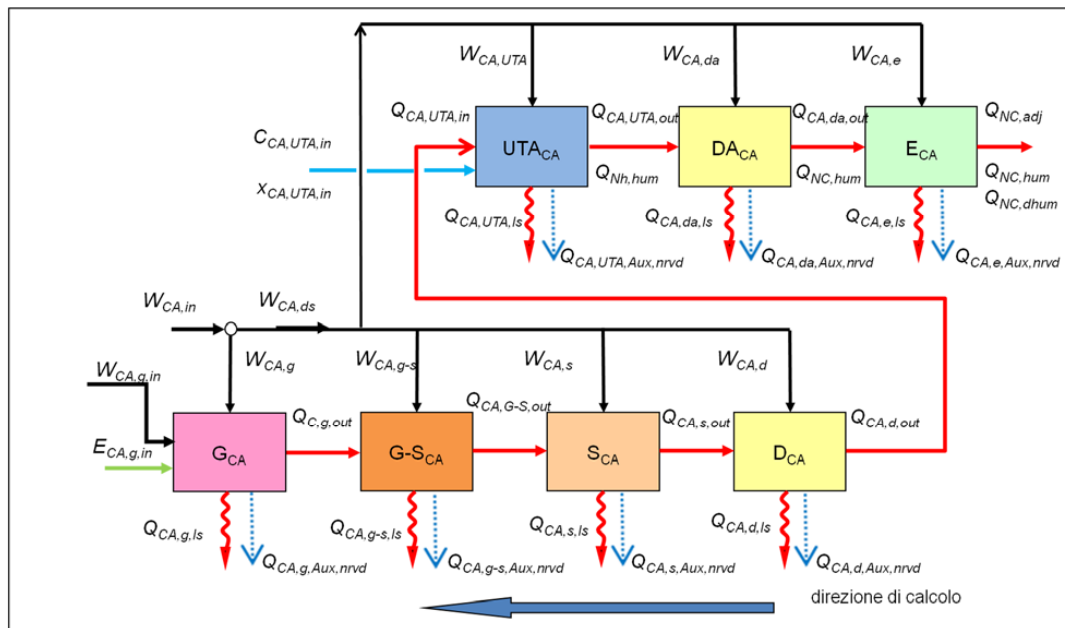


Figura 9.4 – Schema funzionale sottosistemi del servizio climatizzazione estiva con accumulo termico



### 9.3 Fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del servizio di raffrescamento e climatizzazione estiva

Il fabbisogno annuo lordo di energia elettrica da parte degli ausiliari dei sottosistemi di emissione, distribuzione idronica e aerea, trattamento dell'aria, accumulo e distribuzione tra generazione e accumulo, per il servizio raffrescamento e climatizzazione estiva, per ogni sistema impiantistico j-esimo, si determina come:

$$W_{C,ds,j} = \sum_{m=1}^{12} W_{C,ds,m,j} \quad (9.8)$$

$$W_{CA,ds,j} = \sum_{m=1}^{12} W_{CA,ds,m,j} \quad (9.9)$$

dove:

$W_{C,ds,m,j}$  è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari del sistema impiantistico j-esimo per il servizio raffrescamento (con esclusione di quelli relativi al sottosistema di generazione) alla centrale elettrica, [kWh];

$W_{CA,ds,m,j}$  è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari del sistema impiantistico j-esimo per il servizio climatizzazione estiva (con esclusione di quelli relativi al sottosistema di generazione) alla centrale elettrica, [kWh];

m numero del mese.

Il fabbisogno mensile lordo di energia elettrica da parte degli ausiliari, ovvero la richiesta mensile di energia elettrica alla centrale elettrica per il servizio raffrescamento e climatizzazione estiva, con esclusione di quella richiesta dagli ausiliari della sottosistema di generazione, si calcola distintamente per il generico sottosistema impiantistico j-esimo, come:

$$W_{C,ds,m,j} = \sum_{i=1}^{N_z} W_{C,ds,m,i,j} \quad (9.10)$$

$$W_{CA,ds,m,j} = \sum_{i=1}^{N_z} W_{CA,ds,m,i,j} \quad (9.11)$$

dove:

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

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

$N_z$  numero di zone.

La richiesta mensile di energia elettrica alla centrale elettrica degli ausiliari del sistema impiantistico j-esimo per il servizio raffrescamento,  $W_{C,ds,i,j}$ , o climatizzazione estiva,  $W_{CA,ds,i,j}$ , che serve la zona i-esima con esclusione di quella richiesta dagli ausiliari della sottosistema di generazione, si determina calcolando le

richieste relative ai sottosistemi di erogazione, distribuzione idronica e aeraulica, trattamento dell'aria, accumulo e distribuzione tra generazione e accumulo specifiche al sistema impiantistico che la serve.

In generale si ha:

$$W_{C,ds,m,i,j} = \sum_{k=1}^{M_s} (W_{C,k,i})_{m,j} + f_{i,j} \cdot \sum_{k=1}^{N_s} (W_{C,k,i})_{m,j} \quad (9.12)$$

$$W_{CA,ds,m,i,j} = \sum_{k=1}^{M_s} (W_{CA,k,i})_{m,j} + f_{i,j} \cdot \sum_{k=1}^{N_s} (W_{CA,k,i})_{m,j} \quad (9.13)$$

dove:

- $W_{C,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema k-esimo del sistema impiantistico j-esimo idronico, [kWh];
- $W_{CA,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema k-esimo del sistema impiantistico j-esimo aeraulico, [kWh];
- $f_{i,j}$  è la frazione di fabbisogno termico netto sensibile corretto soddisfatta dal sistema impiantistico j-esimo presente nella zona i-esima, [-];
- $M_s$  è il numero di sottosistemi, tra emissione, distribuzioni, accumulo e distribuzione G-S, dei sistemi impiantistici j-esimi che sono interessati esclusivamente dalla richiesta della zona i-esima, [-];
- $N_s$  è il numero di sottosistemi, a valle dei primi, che sono contemporaneamente interessati dalla richiesta di più zone Z (cioè condivisi con altri sistemi impiantistici che servono altre zone, ad esempio un accumulo termico comune), [-].

Se il sistema è dedicato a un'unica zona i-esima, dispone di soli terminali idronici e soddisfa il solo servizio raffrescamento, è schematizzabile come in Figura 9.3 e la richiesta mensile di energia elettrica alla centrale elettrica è data da:

$$W_{C,ds,i,m} = (W_{C,e} + W_{C,d} + W_{C,s} + W_{C,g-s})_{i,m} \quad (9.14)$$

dove:

- $W_{C,e}$  è il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di emissione, [kWh];
- $W_{C,d}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione idronica (terziario, secondario, primario), [kWh];
- $W_{C,s}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di accumulo, [kWh];
- $W_{C,g-s}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione tra accumulo e generazione, [kWh];
- $i$  indice della zona;
- $m$  indice del mese.

Se il sistema è dedicato a un'unica zona i-esima, ma dispone di soli terminali aeraulici e soddisfa il servizio climatizzazione estiva, è schematizzabile come in Figura 9.4 e la richiesta mensile di energia elettrica alla centrale elettrica è data da:

$$W_{CA,ds,i,m} = (W_{CA,e} + W_{CA,da} + W_{CA,UTA} + W_{CA,d} + W_{CA,s} + W_{CA,g-s})_{i,m} \quad (9.15)$$

dove:

$W_{CA,da}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione aerea (secondario, primario), [kWh];

$W_{CA,UTA}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di trattamento dell'aria, [kWh].

Gli altri termini hanno lo stesso significato caso precedente, ma sono riferiti al sistema aeraulico (CA).

#### 9.4 Bilancio energetico del generico sottosistema di emissione

Le perdite termiche di processo del sottosistema di emissione j-esimo,  $Q_{C,e,ls,i,j}$ , che serve la zona i-esima, sono date dalla:

$$Q_{C,e,ls,i,j} = Q_{NC,adj,i,j} \cdot \frac{1 - \eta_{ec,i,j}}{\eta_{ec,i,j}} \quad (9.16)$$

dove:

$Q_{C,e,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione j-esimo che serve la zona i-esima, [kWh];

$Q_{NC,adj,i,j}$  è il fabbisogno nominale di energia termica corretto per il raffrescamento o la climatizzazione estiva della zona termica i-esima nel mese m-esimo, [kWh];

$\eta_{ec,i,j}$  è il rendimento di emissione del terminale di erogazione, determinato in funzione della tipologia di terminale secondo il Prospetto 9.1, [-].

##### 9.4.1 Rendimento dei terminali di erogazione

Nel Prospetto 9.1 sono riportati, in funzione della tipologia di terminale di erogazione, i valori convenzionali del rendimento di emissione degli emettitori,  $\eta_{ec}$ .

Terminale di erogazione	$\eta_{ec}$
Ventilconvettori idronici	0,98
Terminali ad espansione diretta, unità interne sistemi split, ecc.	0,97
Armadi autonomi, ventilconvettori industriali posti in ambiente, travi fredde	0,97
Bocchette in sistemi ad aria canalizzata, anemostati, diffusori lineari a soffitto, terminali sistemi a dislocamento	0,97
Pannelli isolati annegati a pavimento	0,97
Pannelli isolati annegati a soffitto	0,98

Prospetto 9.1 - Valori convenzionali del rendimento di dei terminali di erogazione,  $\eta_{ec}$

(Fonte: UNI TS 11300-3:2010)

#### 9.5 Bilancio energetico del generico sottosistema di controllo

Le perdite del sottosistema di controllo j-esimo,  $Q_{C,c,ls,i,j}$ , che serve la zona i-esima, sono date dalla:

$$Q_{C,c,ls,i,j} = (Q_{NC,adj,i,j} + Q_{C,e,ls,i,j}) \cdot \frac{1 - \eta_{cc,i,j}}{\eta_{cc,i,j}} \quad (9.17)$$

dove:

$Q_{C,e,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione j-esimo che serve la zona i-esima, [kWh];

$Q_{NC,adj,i,j}$  è il fabbisogno nominale di energia termica corretto per il raffrescamento o la climatizzazione estiva della zona termica i-esima nel mese m-esimo, [kWh];

$\eta_{eC,i,j}$  è il rendimento di emissione del terminale di erogazione, determinato in funzione della tipologia di terminale secondo il Prospetto 9.I, [-].

Nel Prospetto 9.II sono riportati, in funzione della configurazione del sistema impiantistico i valori convenzionali del rendimento del sistema di controllo,  $\eta_{cc}$ .

Tipo di regolazione	Caratteristiche	$\eta_{cc}$
Regolazione centralizzata	Regolazione ON-OFF	0,84
	Regolazione modulante	0,90
Controllori zona	Regolazione ON-OFF	0,93
	Regolazione modulante (banda 2°C)	0,95
	Regolazione modulante (banda 1°C)	0,97
Controllo singolo ambiente	Regolazione ON-OFF	0,94
	Regolazione modulante (banda 2°C)	0,96
	Regolazione modulante (banda 1°C)	0,98

Prospetto 9.II – Rendimenti di controllo,  $\eta_{cc}$ , per alcune configurazioni impiantistiche  
(Fonte: UNI TS 11300-3:2010)

### 9.5.1 Fabbisogno elettrico

Nel caso di terminali di erogazione con ventilatore, il fabbisogno di energia elettrica nel periodo di tempo considerato si calcola come segue:

- unità con ventilatore sempre in funzione;

$$W_{C,e,i,j} = \sum_k \dot{W}_{C,e,k} \cdot \Delta t \quad (9.18)$$

- unità con arresto del ventilatore al raggiungimento della temperatura prefissata;

$$W_{C,e,i,j} = \sum_k \dot{W}_{C,e,k} \cdot \frac{(\theta_e - \theta_{i,C})}{(\theta_{im,desj} - \theta_{i,C})} \cdot \Delta t \quad (9.19)$$

dove:

$\dot{W}_{C,e,k}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto dell'ausiliario k-esimo al servizio del sottosistema j-esimo di emissione nella zona i-esima, [W]; (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

$\theta_e$  è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna (si veda § 3.3.5.1), [°C];

$\theta_{i,C}$  è la temperatura di regolazione interna per raffrescamento [°C];

$\theta_{im,des,i}$  è la temperatura prefissata (di progetto o di set-point) di immissione dell'aria nella zona i-esima, [°C], minore, uguale o maggiore di  $\theta_i$ ;

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Nel caso in cui non siano disponibili i dati di progetto dei componenti dell'impianto, la potenza elettrica assorbita dai ventilconvettori è desumibile dal Prospetto 9.III .

Categorie di terminali	Tipologie	Fabbisogni elettrici unitari	
		Portata d'aria [m <sup>3</sup> /h]	Potenza elettrica [W]
Terminali privi di ventilatore	Pannelli isolati dalle strutture ed annegati nelle strutture	Nulli	
Terminali per immissione di aria	Bocchette e diffusori in genere	Nulli	
Terminali ad acqua o ad espansione diretta con ventilatore a bordo	Ventilconvettori, apparecchi in genere con ventilatore ausiliario	Fino a 200 m <sup>3</sup> /h	40
		Da 200 a 400 m <sup>3</sup> /h	50
		Da 400 a 600 m <sup>3</sup> /h	60
Unità canalizzabili	Unità pensili o a basamento – Roof top	1500	180
		2500	340
		3000	500
		4000	700
		6000	1400
		8000	1800

Prospetto 9.III – Fabbisogni elettrici dei terminali di erogazione del calore  
(Fonte: UNI TS 11300-3:2010)

## 9.6 Bilancio energetico del generico sottosistema di distribuzione idronico

Nei sistemi di climatizzazione estiva si possono avere, alternativamente o in combinazione, reti di distribuzione acqua e reti di distribuzione aria.

Il sottosistema di distribuzione idronico può essere suddiviso in più circuiti idraulici e nel caso più generale è possibile identificare le seguenti diverse tipologie interconnesse ad albero:

- Circuito di distribuzione finale agli emettitori di zona (*distribuzione terziaria*);
- Circuito di distribuzione alle zone (*distribuzione secondaria*);
- Circuito di *distribuzione primaria*;
- Circuito da generazione ad accumulo termico (che verrà trattato separatamente a valle del sottosistema di accumulo).

Nell'esempio di Figura 9.5 è possibile identificare diverse combinazioni di tali circuiti. Ad esempio per la zona Z1 e Z2, oltre che esserci il circuito di distribuzione finale di zona, vi è un tratto di circuito di distribuzione distinto per le due zone ed un tratto in comune tra le due zone Z1 e Z2, che si connette ad un

accumulo termico (schema unifilare), collegato a sua volta al sistema di generazione dal circuito generazione-accumulo (schema unifilare). La zona Z3 oltre ad avere il suo circuito finale di zona è servita in esclusiva da un circuito di distribuzione alla zona che la connette direttamente ad un accumulo termico, connesso a sua volta al generatore. Infine la zona Z4, oltre ad avere il suo circuito finale di zona, sempre presente, è collegata dal circuito di distribuzione alla zona direttamente al generatore. In questo esempio manca il circuito di distribuzione primaria, che è invece evidenziato in Figura 9.6.

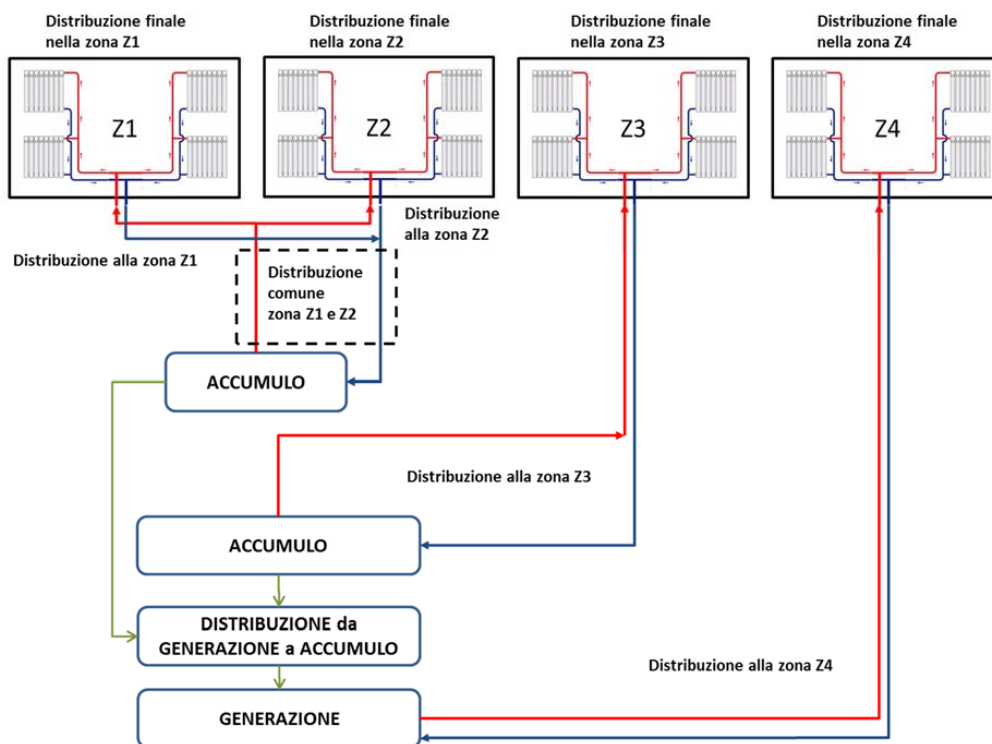


Figura 9.5 – Schema possibili combinazioni circuiti di distribuzione

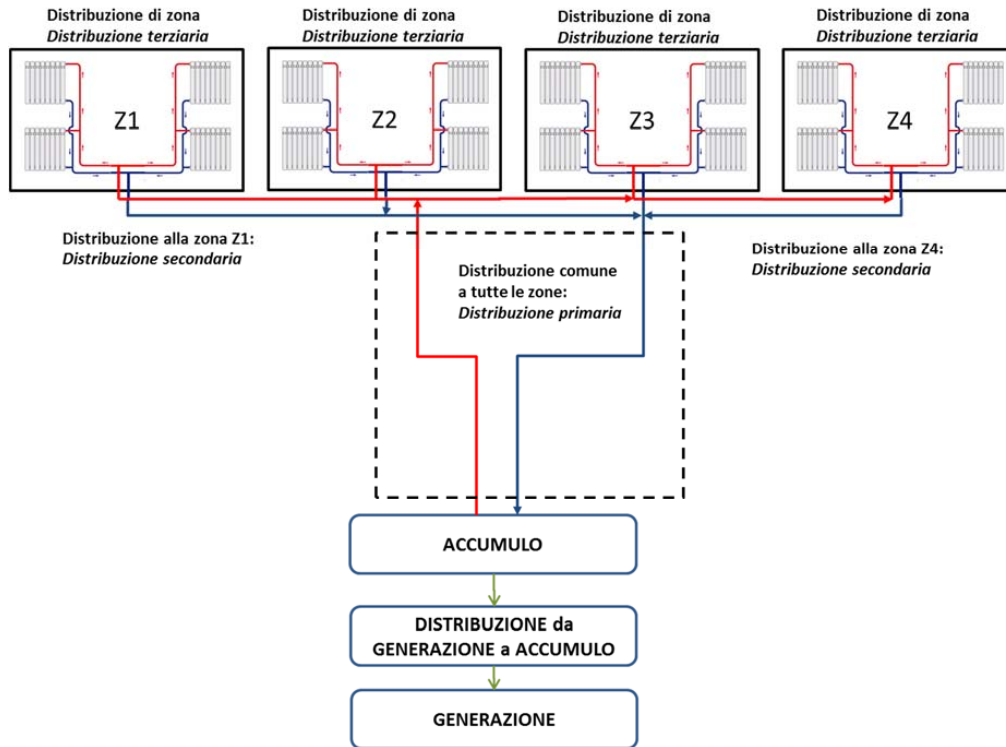


Figura 9.6 – Schema dei livelli dei circuiti di distribuzione idronici

### 9.6.1 Circuito di distribuzione finale nella zona: distribuzione terziaria

L'energia termica richiesta mensilmente dalla zona  $i$ -esima al sistema di distribuzione idronico del sottosistema  $j$ -esimo della zona è data da:

$$Q_{C,d3,out,i,j} = Q_{NC,adj,i,j}^* + Q_{C,e,ls,i,j} - k_{C,e,i,j} \cdot W_{C,e,i,j} \quad (9.20)$$

dove:

- $Q_{C,d3,out,i,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione  $j$ -esimo della zona  $i$ -esima (circuito terziario), [kWh];
- $Q_{NC,adj,i,j}^*$  è il fabbisogno di energia termica sensibile netto corretto per il raffrescamento o la climatizzazione estiva della zona termica  $i$ -esima soddisfatto dalla tipologia d'impianto  $j$ -esima, [kWh];
- $Q_{C,e,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di emissione  $j$ -esimo nella zona  $i$ -esima, [kWh];
- $k_{C,e,i,j}$  è la frazione recuperata direttamente dal fluido termovettore dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema di emissione  $j$ -esimo nella zona  $i$ -esima; nel caso specifico si può considerare sempre il valore 1 giacché, se presenti, gli ausiliari degli emettitori sono quasi sempre all'interno degli ambienti riscaldati;
- $W_{C,e,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di emissione  $j$ -esimo nella zona  $i$ -esima, [kWh].

La perdita termica netta di processo del circuito terziario del sottosistema j-esimo della zona i-esima si calcola, di norma, attraverso la determinazione delle perdite come riportato in Appendice J, ed è data da :

$$Q_{C,d3,ls,net,i,j} = Q_{C,d3,ls,i,j} + k_{C,d3,i,j} \cdot W_{C,d3,i,j} = (Q_{d,ls} - Q_{d,ls,rvd})_{i,j} + k_{C,d3,i,j} \cdot W_{C,d3,i,j} \quad (9.21)$$

dove:

- $Q_{C,d3,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito j-esimo della zona i-esima, [kWh];
- $k_{C,d3,i,j}$  è la frazione recuperata direttamente dal fluido termovettore dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del circuito terziario di distribuzione del sistema j-esimo nella zona i-esima: si assume pari a 0,85 per fluido termovettore acqua solo se la perdita termica viene calcolata con l'equazione (9.24), se invece si usa l'equazione (9.27) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti del § 9.6.4, si assume pari a zero;
- $W_{H,d3,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del circuito j-esimo di distribuzione finale (terziario) nella zona i-esima, [kWh];
- $Q_{d,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito terziario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.1), [kWh];
- $Q_{d,ls,rvd,i,j}$  è la perdita termica recuperata del circuito terziario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.3), [kWh].

In alternativa all'equazione (9.21), in tutti quei casi che rispettano le condizioni al contorno specificate si può utilizzare l'equazione (9.27) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti di distribuzione riportati nel § 9.6.4.

Il fabbisogno di energia elettrica mensile del sottosistema di distribuzione terziario j-esimo della zona i-esima,  $W_{C,d3,i,j}$ , è dovuto alla eventuale presenza di pompe di circolazione e elettrovalvole, e si determina come riportato al § 9.6.5.

### 9.6.2 Circuito di distribuzione alla zona: distribuzione secondaria

L'energia termica richiesta mensilmente dalla distribuzione della zona i-esima al sottosistema di distribuzione j-esimo idronico alle zone è data da:

- a) se il sistema j-esimo della zona i-esima è servito in modo esclusivo da un unico circuito secondario

$$Q_{C,d2,out,i,j} = Q_{C,d3,out,i,j} + Q_{C,d3,ls,net,i,j} \quad (9.22)$$

dove:

- $Q_{C,d2,out,i,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione secondario j-esimo della zona i-esima, [kWh];
- $Q_{C,d3,out,i,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione terziario j-esimo della zona i-esima, [kWh];
- $Q_{C,d3,ls,net,i,j}$  è la perdita termica netta di processo del circuito j-esimo della zona i-esima, [kWh], calcolata con la (9.21);



- b) se il sistema j-esimo della zona i-esima è servito da un unico circuito secondario condiviso con altre zone

$$Q_{C,d2,putk,j} = \sum_{i=1}^{N_z} (Q_{C,d3,putj,j} + Q_{C,d3,js,netj,j}) \quad (9.23)$$

dove:

- k è l'indice che identifica l'insieme delle zone che hanno in comune il circuito secondario del sistema di distribuzione j-esimo, [-];
- $N_z$  è il numero di zone che hanno in comune il circuito secondario del sistema di distribuzione j-esimo, [-].

La perdita termica netta di processo del circuito secondario del sottosistema j-esimo della zona i-esima si calcola, di norma, attraverso la determinazione delle perdite come riportato in Appendice J, ed è data da :

$$Q_{C,d2,js,netj,j} = Q_{C,d2,js,i,j} - k_{C,d2,i,j} \cdot W_{C,d2,i,j} = (Q_{d,js} - Q_{d,js,rvd})_{i,j} - k_{C,d2,i,j} \cdot W_{C,d2,i,j} \quad (9.24)$$

dove:

- $Q_{C,d2,js,i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito j-esimo della zona i-esima, [kWh];
- $k_{C,d2,i,j}$  è la frazione recuperata direttamente dal fluido termovettore dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del circuito secondario di distribuzione del sottosistema j-esimo alla zona i-esima o all'insieme di zone j-esime: si assume pari a 0,85 per fluido termovettore acqua solo se la perdita termica viene calcolata con l'equazione (9.26), se invece si usa l'equazione (9.27) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti del § 9.6.4, si assume pari a zero;
- $W_{C,d2,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del circuito secondario del sottosistema j-esimo di distribuzione nella zona i-esima, [kWh];
- $Q_{d,js,i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito secondario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.1), [kWh];
- $Q_{d,js,rvd,i,j}$  è la perdita termica recuperata del circuito secondario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.3), [kWh].

In alternativa all'equazione (9.24), in tutti quei casi che rispettano le condizioni al contorno specificate si può utilizzare l'equazione (9.27) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti del § 9.6.4.

Il fabbisogno di energia elettrica mensile del sottosistema di distribuzione secondario j-esimo della zona i-esima,  $W_{H,d2,i,j}$ , è dovuto alla eventuale presenza di pompe di circolazione e elettrovalvole, e si determina come riportato al § 9.6.5.

### 9.6.3 Circuito di distribuzione primario

L'energia termica richiesta mensilmente dalla distribuzione idronica alle zone (distribuzione secondaria) al circuito primario del sistema di distribuzione j-esima è data da:

$$Q_{C,d1,putj} = \sum_{i=1}^{N_z} (Q_{C,d2,putj,j} + Q_{C,d2,js,netj,j}) \quad (9.25)$$

dove:

- $Q_{C,d1,out,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione primario j-esimo, [kWh];
- $Q_{C,d2,out,i,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione secondario j-esimo della zona i-esima o del gruppo di zone j-esimo, [kWh];
- $Q_{C,d2,ls,net,i,j}$  è la perdita termica netta di processo del circuito j-esimo della zona i-esima, [kWh], calcolata con la (9.24);
- $N_z$  è il numero di zone servite da sottosistema di distribuzione primaria j-esimo.

La perdita termica netta di processo del circuito primario del sottosistema j-esimo della zona i-esima si calcola, di norma, attraverso la determinazione delle perdite come riportato in Appendice J - Perdite termiche della distribuzione, ed è data da :

$$Q_{C,d1,ls,net,i,j} = Q_{C,d1,ls,i,j} - k_{C,d1,i,j} \cdot W_{C,d1,i,j} = (Q_{d,ls} - Q_{d,ls,rvd})_{i,j} - k_{C,d1,i,j} \cdot W_{C,d1,i,j} \quad (9.26)$$

dove:

- $Q_{C,d1,ls,i,j,k}$  è la perdita termica di processo del sottosistema primario della distribuzione j-esima per la zona i-esima connesso all'accumulo k-esimo, [kWh];
- $k_{C,d1,i,j,k}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema primario della distribuzione j-esima per la zona i-esima connesso all'accumulo k-esimo: si assume pari a 0,85 per fluido termovettore acqua solo se la perdita termica viene calcolata con l'equazione (9.26), se invece si usa l'equazione (9.27) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti del § 9.6.4, si assume pari a zero;
- $W_{C,d1,i,j,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema primario della distribuzione j-esima per la zona i-esima connesso all'accumulo k-esimo, calcolato come riportato al § 9.6.3, [kWh];
- $Q_{d,ls,i,j}$  è la perdita termica di processo del circuito primario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.1), [kWh];
- $Q_{d,ls,rvd,i,j}$  è la perdita termica recuperata del circuito primario j-esimo della zona i-esima, così come calcolato tramite l'equazione (J.3), [kWh].

In alternativa all'equazione (9.26), in tutti quei casi che rispettano le condizioni al contorno specificate si può utilizzare l'equazione (9.27) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti di distribuzione riportati nel § 9.6.4.

Il fabbisogno di energia elettrica mensile del sottosistema di distribuzione secondario j-esimo della zona i-esima,  $W_{C,d1,i,j}$ , è dovuto alla eventuale presenza di pompe di circolazione e elettrovalvole, e si determina come riportato al § 9.6.5.

#### 9.6.4 Rendimenti di distribuzione

Qualora non siano disponibili i dati necessari per il calcolo analitico, le perdite termiche nette di processo del circuito di tipo dx (terziario, secondario o primario) del sottosistema di distribuzione j-esimo,  $Q_{C,dx,ls,net,i,j}$

che serve la zona i-esima possono essere stimate, utilizzando i valori di rendimento precalcolati riportati nel Prospetto 9.IV, come:

$$Q_{C,dx,ls,net,j} = Q_{C,dx,ls,i,j} - k_{C,dx,i,j} \cdot W_{C,dx,i,j} = \left( \frac{1}{\eta_{dC,j}} - 1 \right) \cdot Q_{C,dx,out,i,j} \quad (9.27)$$

dove:

$\eta_{dC,i,j}$  è il rendimento del sottosistema di distribuzione j-esimo della zona i-esima;

$Q_{C,d,out,i,j}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di distribuzione j-esimo della zona i-esima, [kWh].

Nel caso di utilizzo di valori precalcolati si considerano rendimenti costanti per tutti i mesi di attivazione dell'impianto di climatizzazione.

Numero di piani	Rendimento di distribuzione di una rete ad anello nel piano terreno e montanti verticali	Rendimento di distribuzione di una rete a distribuzione orizzontale di piano
1	0,975	0,98
2	0,98	0,98
3	0,985	0,98
4	0,99	0,99
5	0,99	0,99
>5	0,99	0,99

Prospetto 9.IV - Rendimenti di reti distribuzione per unità terminali ad acqua  
(Fonte: UNI TS 11300-3:2010)

I valori si riferiscono a reti interne a temperatura compresa tra 10°C e 15°C isolate per evitare la condensazione e con barriera di vapore.

### 9.6.5 Fabbisogno elettrico

L'energia elettrica assorbita dagli ausiliari (pompe) del generico circuito idronico x (terziario, secondario, primario) del sottosistema j-esimo, se presenti, si calcola come:

- la pompa è controllata dalla richiesta dell'utenza, indipendentemente dal tipo di controllo (portata variabile o on-off), :

$$W_{C,dx,i,j} = \sum_k \dot{W}_{C,dx,k} \cdot FC_{e,i,j} \cdot \Delta t \quad (9.28)$$

- la pompa è controllata dalla modalità di funzionamento del generatore, indipendentemente dal tipo di controllo (portata variabile o on-off),:

$$W_{C,dx,i,j} = \sum_k \dot{W}_{C,dx,k} \cdot FC_{g,i,j} \cdot \Delta t \quad (9.29)$$

- la pompa è sempre in funzione quando il servizio è erogato:

$$W_{C,dx,j} = \sum_k \dot{W}_{C,dx,k} \cdot \Delta t \quad (9.30)$$

dove:

$W_{C,dx,i,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema x (terziario, o secondario, o primario) di distribuzione j-esimo nella zona i-esima, [kWh];

$\dot{W}_{C,dx,k}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto dalla pompa k-esima al servizio del sottosistema di distribuzione j-esimo nella zona i-esima, [W]; (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

$FC_{e,i,j}$  è il fattore di carico del sottosistema j-esimo di emissione della zona i-esima (campo di validità 0-1), dato da:

$$FC_{e,i,j} = \frac{\Phi_{i,j,av}}{\Phi_{N,i,j,Tot}} \quad (9.31)$$

con

$$\Phi_{i,j,av} = Q_{NC,adj, i,j} / \Delta t \quad (9.32)$$

dove:

$\Phi_{N,i,j,Tot}$  è la potenza di progetto complessiva di tutti i terminali dell'impianto j-esimo presenti nella zona i-esima, [W];

$\Phi_{i,j,av}$  è la potenza media giornaliera media mensile richiesta all'impianto j-esimo dalla zona i-esima, [W];

$Q_{NC,adj, i,j}$  è il fabbisogno nominale di energia termica corretto per il raffrescamento o la climatizzazione estiva della zona termica i-esima nel mese m-esimo, [kWh];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

$FC_{g,i,j}$  è il fattore di carico utile del sottosistema di generazione che serve il sottosistema j-esimo della zona i-esima; dato dalla;

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

### 9.6.6 Potenza elettrica richiesta da una pompa

Nel caso non sia disponibile il dato sulla potenza elettrica di progetto di una generica pompa, questa può essere calcolata come:

$$\dot{W}_{po} = \frac{\Phi_{idr}}{\eta_{po}} \quad (9.33)$$

dove:

$\Phi_{idr}$  è la potenza idraulica richiesta, [W];

$\eta_{po}$  è il rendimento della pompa, [-].

La potenza idraulica è data da:

$$\Phi_{idr} = \frac{\rho \cdot \dot{V} \cdot H_{idr}}{367,2} \quad (9.34)$$

dove:

$\rho$  è la massa volumica dell'acqua presa pari a 1 [kg/dm<sup>3</sup>];

$\dot{V}$  è portata di acqua, [dm<sup>3</sup>/h];

$H_{idr}$  è la prevalenza richiesta, [m].

Il rendimento della pompa è desumibile dal Prospetto 9.V se la potenza della pompa è inferiore a 1000 W; per potenze maggiori o uguali ad 1000 W si considera un rendimento pari a 0,6.

Potenza idraulica	Rendimento della pompa <sup>1)</sup>
$\Phi_{idr} < 50 \text{ W}$	$\Phi_{idr}^{0,50} / 25,46$
$50 \text{ W} \leq \Phi_{idr} < 250 \text{ W}$	$\Phi_{idr}^{0,26} / 10,52$
$250 \text{ W} \leq \Phi_{idr} < 1\,000 \text{ W}$	$\Phi_{idr}^{0,40} / 26,23$
2) Ciascuna formula di calcolo è relativa ad uno specifico tipo di elettroscaldatore di più generale impiego nel campo di potenze indicato; per tale motivo le curve di rendimento presentano andamenti differenti	

Prospetto 9.V – Curve di rendimento di elettroscaldatori in funzione della potenza idraulica  
(Fonte: UNI TS 11300-2:2014)

## 9.7 Bilancio energetico del generico sottosistema di distribuzione aeraulico

Per impianti con fluido termovettore aria le perdite da canali di distribuzione posti in ambienti non climatizzati o all'esterno sono date dalla somma delle perdite termiche per scambio di calore e le perdite energetiche di massa, dovute al tragilaggio di aria dalle canalizzazioni, e sono determinate secondo la seguente formula:

$$Q_{C,d,i,j} = Q_{d,s,i,j} + Q_{d,l,s,m,i,j} \quad (9.35)$$

dove:

$Q_{d,s,i,j}$  sono le perdite di energia termica per trasmissione del calore, [kWh];

$Q_{d,l,s,m,i,j}$  sono le perdite di energia termica dovute a perdite di massa, determinate secondo la UNI EN 15242, [kWh].

### 9.7.1 Metodo analitico

La determinazione di  $Q_{d,l,s,i,j}$  è effettuata con la seguente formula:

$$Q_{d,l,s,i,j} = \sum_k U'_k \cdot (\theta_{e,k} - \theta_{int,d}(FC_g)) \cdot D_d \cdot \Delta t \quad (9.36)$$

dove:

$\theta_{int,d}(FC_g)$  è la temperatura effettiva di mandata dell'aria, dipendente dal fattore di carico  $FC_g$ , determinata secondo la (9.37), [°C];

$\theta_{e,k}$  è la temperatura del locale non riscaldato o dell'ambiente esterno, [°C];

$D_d$  è la lunghezza dei canali di distribuzione dell'aria, [m];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

La trasmittanza termica lineare  $U_i'$  per le condotte si determina secondo la (J.103). Nel caso di condotte rettangolari si determina il diametro di un canale circolare equivalente, avente lo stesso perimetro esterno del canale rettangolare e quindi la stessa superficie disperdente.

La temperatura effettiva di mandata dell'aria  $\theta_{int,d}(FC_g)$  dipende dal fattore di carico tramite la relazione:

$$\theta_{int,d}(FC_g) = \theta_{int,set} - (\theta_{int,set} - \theta_{int,d,des}) \cdot FC_g \quad (9.37)$$

dove:

$\theta_{int,set}$  è la temperatura interna di regolazione dell'ambiente condizionato, [°C];

$\theta_{int,d,des}$  è la temperatura di mandata in condizioni di progetto, [°C].

La dimensione del canale principale, che si ipotizza possa essere la parte disperdente verso zone non climatizzate, qualora non disponibile, viene stimata tramite la formula (J.108).

In mancanza di valori di progetto, è possibile calcolare la dimensione del canale principale utilizzando i valori delle velocità indicate nei prospetti riportati al § J.1.2.3.

### 9.7.2 Metodo semplificato

È possibile calcolare le perdite per trasmissione di calore con la seguente formula:

$$Q_{d,i,j} = \theta_{l,d,i,j} \cdot D_d \cdot \Delta t \quad (9.38)$$

dove:

$\theta_{l,d,i,j}$  è la potenza frigorifera persa per scambio termico per ogni metro di canale, ottenuto per interpolazione dai Prospetto 9.VII Prospetto 9.VIII, Prospetto 9.IX, Prospetto 9.X, [W/m];

$D_d$  è la lunghezza dei canali di distribuzione dell'aria, [m];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

In caso di condizioni di temperatura esterna non compresa tra i limiti riportati nei prospetti i valori di  $\theta_{l,d,i,j}$  devono essere ricavati per estrapolazione.

Nel Prospetto 9.VI sono indicate le differenze di temperatura ammesse tra aria esterna e superficie del canale per evitare la condensazione per diverse temperature e umidità relative dell'aria esterna al canale.



Temperatura aria esterna $\theta_e$ (°C)	Umidità relativa dell'aria (%)					
	50	60	70	80	90	95
26	11,2	8,4	5,8	3,7	1,8	0,9
28	11,4	8,5	6	3,8	1,8	0,9
30	11,6	8,6	6,1	3,8	1,8	0,9
32	11,8	8,8	6,2	3,9	1,8	0,9

**Prospetto 9.VI – Differenza di temperatura tra superficie esterna del canale e temperatura dell'aria tale da evitare la condensazione sulla superficie del canale**  
(Fonte: UNI TS 11300-3:2010)

		Temperatura media aria esterna al canale nel periodo di funzionamento $\theta_e$ (°C)			
		26	28	30	32
Diametro equivalente medio canali principali	Trasmittanza lineare canale	Potenza frigorifera persa dalla rete			
D [m]	$\Psi$ [W/mK]	$\theta_{i,d}$ [W/m]	$\theta_{i,d}$ [W/m]	$\theta_{i,d}$ [W/m]	$\theta_{i,d}$ [W/m]
0,376	1,8	7,6	11,2	14,8	18,4
0,461	2,18	9,1	13,5	17,9	22,2
0,532	2,49	10,5	15,5	20,5	25,4
0,651	3,03	12,7	18,8	24,8	30,9
0,752	3,47	14,6	21,5	28,5	35,4
0,841	3,87	16,3	24	31,7	39,5
0,921	4,23	17,8	26,2	34,7	43,1
0,995	4,56	19,1	28,2	37,4	46,5
1,064	4,86	20,4	30,1	39,9	49,6
1,128	5,15	21,6	31,9	42,2	52,5
1,189	5,42	22,8	33,6	44,4	55,3
1,303	5,92	24,9	36,7	48,6	60,4
1,407	6,39	26,8	39,6	52,4	65,2

**Prospetto 9.VII – Emissioni verso locale interno non climatizzato - altezza del locale 3m**  
(Fonte: UNI TS 11300-3:2010)



		Temperatura media aria esterna al canale nel periodo di funzionamento $\theta_e$ (°C)			
		26	28	30	32
Diametro equivalente medio canali principali	Trasmittanza lineare canale	Potenza frigorifera persa dalla rete			
D [m]	$\Psi$ [W/mK]	$\theta_{i,d}$ [W/m]	$\theta_{i,d}$ [W/m]	$\theta_{i,d}$ [W/m]	$\theta_{i,d}$ [W/m]
0,532	2,49	10,5	15,5	20,5	25,4
0,651	3,03	12,7	18,8	24,8	30,9
0,752	3,47	14,6	21,5	28,5	35,4
0,921	4,23	17,8	26,2	34,7	43,1
1,064	4,86	20,4	30,1	39,9	49,6
1,189	5,42	22,8	33,6	44,4	55,3
1,303	5,92	24,9	36,7	48,6	60,4
1,407	6,39	26,8	39,6	52,4	65,2
1,505	6,82	28,6	42,3	55,9	69,6
1,596	7,23	30,4	44,8	59,3	73,7
1,682	7,61	32	47,2	62,4	77,6
1,843	8,33	35	51,6	68,3	84,9
1,99	8,98	37,7	55,7	73,7	91,6

Prospetto 9.VIII – Emissioni verso locale interno non climatizzato - altezza del locale 6m  
(Fonte: UNI TS 11300-3:2010)

		Temperatura media aria esterna al canale $\theta_e$ (°C)				
		25	24	23,5	21,5	16
Diametro equivalente medio canali principali	Trasmittanza lineare canale	Potenza frigorifera persa dalla rete				
D [m]	$\Psi$ [W/mK]	$\theta_{i,d}$ [W/m]	$\theta_{i,d}$ [W/m]	$\theta_{i,d}$ [W/m]	$\theta_{i,d}$ [W/m]	$\theta_{i,d}$ [W/m]
0,376	1,8	5,7	4	3,1	0	0
0,461	2,18	6,9	4,8	3,7	0	0
0,532	2,49	8	5,5	4,3	0	0
0,651	3,03	9,7	6,7	5,1	0	0
0,752	3,47	11,1	7,6	5,9	0	0
0,841	3,87	12,4	8,5	6,6	0	0
0,921	4,23	13,5	9,3	7,2	0	0
0,995	4,56	14,6	10	7,7	0	0
1,064	4,86	15,6	10,7	8,2	0	0
1,128	5,15	16,5	11,3	8,8	0	0
1,189	5,42	17,4	11,9	9,2	0	0
1,303	5,92	19	13,1	10,1	0	0
1,407	6,39	20,5	14,1	10,9	0	0

Prospetto 9.IX – Emissioni verso l'esterno con rivestimento canali protetti dal sole - altezza del locale 3m  
(Fonte: UNI TS 11300-3:2010)

		Temperatura media aria esterna al canale $\theta_e$ (°C)				
		28	27	26,5	24	18
Diametro equivalente medio canali principali	Trasmittanza lineare canale	Potenza frigorifera persa dalla rete				
D [m]	$\Psi$ [W/mK]	$\theta_{l,d}$ [W/m]	$\theta_{l,d}$ [W/m]	$\theta_{l,d}$ [W/m]	$\theta_{l,d}$ [W/m]	$\theta_{l,d}$ [W/m]
0,376	1,8	11,2	9,4	8,5	4	0
0,461	2,18	13,5	11,3	10,2	4,8	0
0,532	2,49	15,5	13	11,7	5,5	0
0,651	3,03	18,8	15,7	14,2	6,7	0
0,752	3,47	21,5	18,5	16,3	7,6	0
0,841	3,87	24	20,1	18,2	8,5	0
0,921	4,23	26,2	22	19,9	9,3	0
0,995	4,56	28,2	23,7	21,4	10	0
1,064	4,86	30,1	25,3	22,8	10,7	0
1,128	5,15	31,9	26,8	24,2	11,3	0
1,189	5,42	33,6	28,2	25,5	11,9	0
1,303	5,92	36,7	30,8	27,8	13,1	0
1,407	6,39	39,6	33,2	30	14,1	0

Prospetto 9.X – Emissioni verso l'esterno con rivestimento canali esposti al sole - altezza del locale 3m  
(Fonte: UNI TS 11300-3:2010)

### 9.7.3 Potenza elettrica richiesta da un ventilatore

Nel caso non sia disponibile il dato sulla potenza elettrica di progetto di un generico ventilatore, questa può essere stimata:

- mediante misura della potenza assorbita a pieno carico;
- in base ai dati di targa corretti per le effettive condizioni di esercizio sulla curva caratteristica del ventilatore.

La potenza elettrica del ventilatore può essere infatti calcolata come:

$$\dot{W}_{ve} = \frac{\Phi_{aer}}{\eta_{ve}} \quad (9.39)$$

dove:

$\Phi_{aer}$  è la potenza aeraulica richiesta, [W];

$\eta_{ve}$  è il rendimento del ventilatore, ottenuto per le condizioni di impiego dalla curva caratteristica fornita dal produttore, se è un elettroventilatore, [-]; se invece è un ventilatore a cinghia, è il prodotto del rendimento totale del ventilatore,  $\eta_{v,tot}$  (così come derivabile dalla curva caratteristica) per il rendimento elettrico del motore  $\eta_{m,el}$ :

$$\eta_{ve} = \eta_{v,tot} \cdot \eta_{m,el} \quad (9.40)$$

con:

$$\eta_{v,tot} = f(\dot{V}) \quad (9.41)$$

dove:

$f(\dot{V})$  è la curva caratteristica del ventilatore rendimento-portata, per il numero di giri assegnato.

La potenza aeraulica è data da:

$$\Phi_{\text{aer}} = \dot{V} \cdot p_{\text{tot}} \quad (9.42)$$

dove:

$\dot{V}$  è portata d'aria, [m<sup>3</sup>/s];

$p_{\text{tot}}$  è la pressione totale da ottenere, [kPa].

Qualora non siano disponibili i dati di rendimento del ventilatore, si può ricorrere a misure elettriche in campo. In tal caso la potenza elettrica assorbita è data da:

$$W_{\text{ve}} = k \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (9.43)$$

dove:

$k$  è pari a:

1 nel caso di motori elettrici monofase;

1,73 nel caso di motori elettrici trifase;

$V$  è la tensione elettrica, [V];

$I$  è la corrente elettrica assorbita, [kA];

$\cos \phi$  è il coseno dell'angolo di sfasamento tra tensione e corrente, ovvero il fattore di potenza misurato in campo con appositi strumenti (cosfmetro o fasometro).

## 9.8 Bilancio energetico del generico sottosistema di accumulo termico idronico

Normalmente il servizio raffrescamento e/o climatizzazione estiva ha, se presente, un solo sottosistema di accumulo termico; è però possibile che si abbiano anche più sistemi di accumulo che servano insieme diversi di zone termiche. In generale quindi si ha, per l'insieme dei sistemi di accumulo termico, (di seguito si usa il pedice X per il generico servizio, che sarà a seconda del caso C, solo raffrescamento, o CA, climatizzazione estiva):

$$Q_{X,s,\text{out}} = \sum_{k=1}^{N_{sa}} Q_{X,s,\text{out},k} = \sum_{k=1}^{N_{sa}} \sum_{i=1}^{N_{zj}} Q_{X,s,\text{out},i,k} = \sum_{k=1}^{N_{sa}} \sum_{i=1}^{N_{zj}} \sum_{j=1}^{N_d} Q_{X,s,\text{out},i,j,k} \quad (9.44)$$

dove:

$Q_{X,s,\text{out},k}$  è l'energia termica richiesta complessivamente al sottosistema di accumulo k-esimo, [kWh];

$Q_{X,s,\text{out},i,k}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di accumulo k-esimo dalla zona i-esima, [kWh];

$Q_{X,s,\text{out},i,j,k}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di accumulo k-esimo dalla zona i-esima attraverso la distribuzione j-esima, [kWh];

$N_d$  è il numero di sottosistemi di distribuzione idronica che servono la zona i-esima connessi all'accumulo termico k-esimo, [-];

$N_{zj}$  è il numero di zone termiche che sono servite dal sottosistema di accumulo j-esimo, [-];

$N_{sa}$  è il numero di sottosistemi di accumulo del servizio raffrescamento o climatizzazione estiva, [-].

L'energia termica richiesta al sottosistema di accumulo termico idronico k-esimo,  $Q_{X,s,out,i,j,k}$ , che serve la zona i-esima tramite il sistema di distribuzione j-esimo è data da:

$$Q_{X,s,out,i,j,k} = Q_{X,d1,out,i,j,k} + Q_{X,d1,s,net,i,j,k} \quad (9.45)$$

dove:

$Q_{X,s,out,i,j,k}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema di accumulo k-esimo per servire la zona i-esima tramite il sottosistema di distribuzione j-esimo, [kWh];

$Q_{X,d1,out,i,j,k}$  è l'energia termica richiesta al sottosistema primario della distribuzione j-esima per la zona i-esima connesso all'accumulo k-esimo, [kWh];

$Q_{X,d1,s,net,i,j,k}$  è la perdita termica netta di processo del sottosistema primario della distribuzione j-esima per la zona i-esima connesso all'accumulo k-esimo, [kWh], calcolata con la (9.26).

Le perdite del generico sottosistema di accumulo termico idronico k-esimo, sono calcolate secondo la:

$$Q_{X,s,ls,k} = K_{acc,k} \cdot (\theta_s - \theta_a)_k \cdot \Delta t \quad (9.46)$$

dove:

$Q_{X,s,ls,k}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo termico k-esimo, [kWh];

$K_{acc,k}$  è il valore di dispersione termica dell'accumulatore fornita dal costruttore, [W/K];

$\theta_s$  è la temperatura media nell'accumulo k-esimo, [°C];

$\theta_a$  è la temperatura media dell'aria dell'ambiente in cui l'accumulo k-esimo è installato, definita nel Prospetto 9.XI, [°C];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Qualora il costruttore indichi la perdita giornaliera di energia termica  $Q_{test}$  in kWh/giorno, misurata per una differenza di temperatura di test, il  $K_{acc}$  è ricavabile come:

$$K_{acc} = \frac{Q_{test}}{0,024 \cdot (\theta_{test,s} - \theta_{test,a})} \quad (9.47)$$

dove:

$\theta_{test,s}$  è la temperatura media nell'accumulo dichiarata dal costruttore, [°C];

$\theta_{test,a}$  è la temperatura ambiente del locale in cui è installato il serbatoio di accumulo nelle condizioni di prova dichiarate dal costruttore, [°C].

Ai soli fini della certificazione energetica, se non si dispone del dato di dispersione termica dell'accumulatore,  $K_{acc}$ , fornito dal costruttore, si esegue il calcolo secondo la:

$$Q_{X,s,ls} = S_s \cdot \frac{\lambda_s}{d_s} \cdot (\theta_s - \theta_a) \cdot \Delta t \quad (9.48)$$

dove:

- $Q_{x,s,ls}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo termico j-esimo che serve la zona i-esima, [kWh];
- $S_s$  è la superficie esterna dell'accumulo, [m<sup>2</sup>];
- $\lambda_s$  è la conduttività dello strato isolante, [W/mK];
- $d_s$  è lo spessore dello strato isolante, [m];
- $\theta_s$  è la temperatura media nell'accumulo, [°C];
- $\theta_a$  è la temperatura media dell'aria dell'ambiente in cui l'accumulo è installato, definita nel Prospetto 9.XI, [°C];
- $\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Tipo di ambiente	$\theta_a$ (°C)
Ambiente climatizzato	Temperatura dell'ambiente climatizzato (§ 1.5 )
Ambiente non climatizzato	Temperatura dell'ambiente non climatizzato calcolata secondo l'Appendice A
In centrale frigorifera (nel caso in cui non sia adiacente ad ambienti non climatizzati)	Temperatura media mensile aria esterna + 5 °C
Esterno	Temperatura media mensile aria esterna $\theta_e$

**Prospetto 9.XI – Valori della temperatura media dell'ambiente in cui è installato l'accumulatore**  
 (Fonte: adattato da UNI TS 11300-2:2014)

Il fabbisogno di energia termica mensile del k-esimo sottosistema di accumulo termico idronico,  $Q_{x,s,in,k}$ , è quindi dato da:

$$Q_{x,s,in,k} = Q_{x,s,out,k} + Q_{x,s,ls,k} \tag{9.49}$$

dove:

- $Q_{x,s,out,k}$  è l'energia termica complessivamente richiesta al sottosistema di accumulo k-esimo, [kWh];
- $Q_{x,s,ls,k}$  è la perdita termica di processo del sottosistema di accumulo termico k-esimo, [kWh].

La quota di energia richiesta dal sistema di distribuzione j-esimo della zona i-esima,  $Q_{x,s,in,i,j,k}$ , si determina come:

$$Q_{x,s,in,i,j,k} = Q_{x,s,in,k} \cdot \frac{Q_{x,s,out,i,j,k}}{\sum_{i=1}^{N_{z,k}} \sum_{j=1}^{N_{d,k}} Q_{x,s,out,i,j,k}} \tag{9.50}$$

dove:

- $Q_{x,s,in,k}$  è il fabbisogno di energia termica mensile del k-esimo sottosistema di accumulo termico idronico, [kWh];
- $Q_{x,s,out,k}$  è l'energia termica complessivamente richiesta al sottosistema di accumulo k-esimo, [kWh];
- $i$  è l'indice delle zone connesse all'accumulo k-esimo, [-];
- $j$  è indice del sistema di distribuzione servito dall'accumulo k-esimo, [-];
- $N_{z,k}$  è il numero totale di zone connesse all'accumulo k-esimo, [-];
- $N_{d,k}$  è il numero totale di distribuzioni connesse all'accumulo k-esimo, [-].

Il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di accumulo termico idronico k-esimo che serve la zona i-esima tramite il sottosistema di distribuzione j-esimo,  $W_{X,s,i,j,k}$ , è esclusivamente dovuto alla eventuale presenza di una pompa di circolazione nel circuito idronico tra l'accumulatore e uno scambiatore di calore, esterno all'accumulatore, che è interposto tra questo e il sistema di generazione (Figura 9.7). Il circuito idronico tra lo scambiatore e l'accumulatore è chiamato secondario, mentre il circuito idronico tra lo scambiatore e il sistema di generazione è chiamato primario. In tal caso è sempre presente una pompa di circolazione sia sul primario che sul secondario. Il fabbisogno elettrico della pompa sul primario è attribuito al sottosistema di distribuzione tra accumulo e generazione.

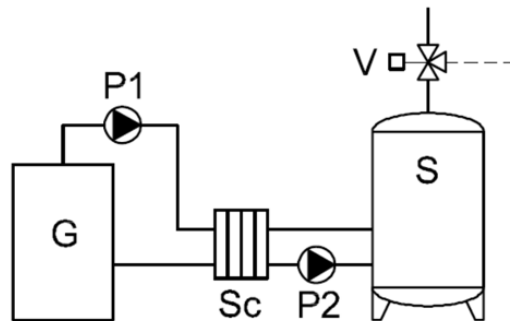


Figura 9.7 – Scambiatore di calore tra generazione e accumulo termico: pompa P2 sul secondario vista come ausiliario del sistema di accumulo termico.

Il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di accumulo termico idronico k-esimo è quindi dato dal prodotto tra la potenza di progetto complessiva dei circolatori di tipo P2 (Figura 9.7) e il loro tempo di funzionamento, secondo la relazione:

$$W_{X,s,i,j,k} = \left( \sum_{p=1}^{N_s} \dot{W}_{X,s,p} \cdot FC_{sc,p} \right) \cdot \Delta t \quad (9.51)$$

dove:

$W_{X,s,i,j,k}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di accumulo k-esimo che serve la zona i-esima tramite il sottosistema di distribuzione j-esimo, [kWh];

$\dot{W}_{X,s,p}$  è la potenza di progetto dell'ausiliario p-esimo al servizio del sottosistema di accumulo k-esimo dovuto alla presenza dello scambiatore di calore p-esimo, [W]; (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

$FC_{sc,p,k}$  è il fattore di carico dello scambiatore p-esimo che serve il sottosistema di accumulo k-esimo che alimenta la zona i-esima tramite il sottosistema di distribuzione j-esimo, [-]; tale fattore coincide con il fattore di carico del generatore che alimenta tale scambiatore;

$N_s$  è il numero di scambiatori di calore connessi all'accumulo k-esimo, [-];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh];

con

$$(FC_{sc,p})_k = \left( \frac{Q_{sc,p}}{\Phi_{sc,p} \cdot \Delta t} \right)_k \quad (9.52)$$

dove:

$Q_{sc,p}$  è l'energia termica ceduta nel periodo di calcolo dallo scambiatore p-esimo all'accumulatore k-esimo, [kWh];

$\Phi_{sc,p}$  è la potenza termica nominale dello scambiatore p-esimo dell'accumulatore k-esimo, [W];

con

$$Q_{sc,p} = Q_{G,out,k} \quad (9.53)$$

dove:

$Q_{G,out,k}$  è l'energia termica ceduta nel periodo di calcolo dal sistema di generazione k-esimo all'accumulatore k-esimo tramite lo scambiatore di calore p-esimo, [kWh].

### 9.9 Bilancio energetico mensile del sottosistema di distribuzione tra accumulo e generazione

Il circuito idronico di distribuzione tra sistema di generazione e accumulatore termico, tenendo presente che è possibile avere all'interno del sottosistema di generazione più generatori di tipologia diversa, può essere composto da più circuiti idraulici che collegano tali generatori all'accumulatore termico. Di conseguenza, in generale, il sottosistema di distribuzione tra sistema di generazione e accumulatore termico può essere composto da più circuiti in parallelo diversi tra loro e nel seguito verrà sinteticamente indicato con l'acronimo G-S. Inoltre di seguito si usa il pedice X per il generico servizio, che sarà a seconda del caso C, solo raffrescamento, o CA, ed eventualmente, nel caso di compresenza dei servizi C e CA, che facciano capo a una sola distribuzione, C+CA.

L'energia termica richiesta complessivamente al sottosistema di distribuzione G-S dall'accumulatore k-esimo è quindi data da:

$$Q_{X,g-s,out,k} = Q_{X,s,in,k} - Q_{X,s,aux,k} \quad (9.54)$$

dove:

$Q_{X,g-s,out,k}$  è l'energia termica richiesta complessivamente al sottosistema di distribuzione G-S dall'accumulo termico k-esimo, [kWh];

$Q_{X,s,in,k}$  è l'energia termica richiesta dal sottosistema di accumulo termico k-esimo così come calcolata con l'equazione (9.50), [kWh];

$Q_{X,s,aux,k}$  è l'energia termica recuperata dall'energia elettrica assorbita dagli ausiliari al servizio del sottosistema di accumulo k-esimo, [kWh];

con:

$$Q_{X,s,aux,k} = \Delta t \cdot \sum_{p=1}^{Ns} (k_{X,sc,p} \cdot \dot{W}_{X,sc,p} \cdot FC_{sc,p})_k \quad (9.55)$$

- $K_{X,sc,p,k}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dalle pompe del circuito secondario tra scambiatore k-esimo e accumulatore termico j-esimo (se presente): si assume pari a 0,85 per fluido termovettore acqua solo se la perdita termica del circuito viene calcolata con l'equazione (9.26), se invece si usa l'equazione (9.27) insieme con i valori precalcolati dei rendimenti del § 9.6.4, si assume pari a zero;
- $FC_{sc,p}$  è il fattore di carico dello scambiatore p-esimo che serve il sottosistema di accumulo k-esimo, [-];
- $\dot{W}_{X,sc,p}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto dell'ausiliario p-esimo al servizio del sottosistema di accumulo k-esimo, [W] (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa).
- $N_s$  è il numero di scambiatori di calore connessi all'accumulo k-esimo, [-];
- $\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh];

L'energia termica richiesta ad ogni singolo circuito j-esimo componente il sottosistema di distribuzione G-S k-esimo sarà data invece dalla:

$$Q_{X,g-s,out,k,j} = f_{R,g-s,k,j} \cdot Q_{X,g-s,out,k} \quad (9.56)$$

dove:

- $Q_{X,g-s,out,k,j}$  è l'energia termica richiesta al circuito j-esimo del sistema G-S k-esimo, [kWh];
- $Q_{X,g-s,out,k}$  è l'energia termica richiesta complessivamente al sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [kWh];
- $f_{R,g-s,k,j}$  è il fattore di ripartizione j-esimo dell'energia complessivamente richiesta al sottosistema G-S k-esimo, cioè la frazione coperta dal circuito j-esimo, [-].

Il fattore di ripartizione j-esimo dell'energia complessivamente richiesta al sottosistema G-S k-esimo, cioè la frazione coperta dal circuito j-esimo,  $f_{R,g-s,k,j}$ , è un dato che dipende dalla configurazione e dalle logiche di controllo dei sistemi di generazione collegati all'accumulatore k-esimo tramite i diversi circuiti.

Per il calcolo delle perdite termiche del singolo circuito j-esimo del sottosistema G-S k-esimo si considerano i seguenti casi:

- a) distanza tra generatore e serbatoio di accumulo  $\leq 5$  m e tubazioni di collegamento isolate:
- le perdite si considerano trascurabili;

$$Q_{X,g-s,l,s,k,j} = 0 \quad (9.57)$$

- b) distanza tra generatore e serbatoio di accumulo  $\leq 5$  m e tubazioni di collegamento non isolate:
- le perdite si calcolano in modo dettagliato secondo quanto riportato nell'Appendice J sulla base della temperatura media dell'acqua nel circuito primario;

$$Q_{X,g-s,l,s,k,j} = Q_{d,l,s} \quad (9.58)$$

- c) distanza tra generatore e serbatoio di accumulo  $> 5$  m:



- calcolo come nel caso precedente.

La perdita termica complessiva per il sottosistema distribuzione G-S k-esimo è quindi data da:

$$Q_{X,g-s,l_s,k} = \sum_{j=1}^{N_c} Q_{X,g-s,l_s,k,j} \quad (9.59)$$

dove:

$N_c$  è il numero di circuiti presenti nel sottosistema di distribuzione G-S, [-].

Il fabbisogno di energia elettrica complessivo del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo,  $W_{X,g-s,k}$ , è dato dalla somma dei fabbisogni di energia elettrica dei singoli circuiti presenti,  $W_{X,g-s,k,j}$ , cioè:

$$W_{X,g-s,k} = \sum_{j=1}^{N_c} W_{X,g-s,k,j} \quad (9.60)$$

dove:

$W_{X,g-s,k,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica dagli ausiliari del j-esimo circuito presente nel sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [kWh];

$N_c$  è il numero di circuiti presenti nel sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [-].

Il fabbisogno di energia elettrica dello j-esimo circuito del sottosistema G-S k-esimo è dato dal prodotto tra la potenza complessiva degli ausiliari, in condizioni nominali di esercizio, e il tempo di funzionamento del circuito primario che coincide con il tempo di funzionamento del generatore ad esso collegato, secondo la relazione:

$$W_{X,g-s,k,j} = \sum_p \dot{W}_{X,g-s,k,j,p} \cdot FC_{gh,k,j} \cdot \Delta t \quad (9.61)$$

$\dot{W}_{X,g-s,k,j,p}$  è la potenza erogata in condizioni di progetto dell'ausiliario p-esimo al servizio del j-esimo circuito del sottosistema G-S k-esimo, [W]; (in assenza di dati più precisi si può eventualmente utilizzare la potenza di targa);

$FC_{gh,k,j}$  è il fattore di carico utile medio mensile del generatore asservito al servizio raffrescamento o climatizzazione estiva collegato al circuito j-esimo che alimenta il sottosistema G-S k-esimo, [-].

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Il fattore di carico utile medio mensile del generatore asservito al servizio raffrescamento o climatizzazione estiva collegato al circuito j-esimo del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo si stima con la seguente formula:

$$FC_{gh,k,j} = \frac{Q_{X,g-s,out,k,j} + Q_{X,g-s,l_s,k,j} - k_{X,g-s,k,j} \cdot W_{X,g-s,k,j}}{\Phi_{N,gh,j} \cdot \Delta t} \quad (9.62)$$

dove:

$Q_{X,g-s,out,k,j}$  è l'energia termica richiesta al j-esimo circuito del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [kWh];

$Q_{X,g-s,ls,k}$  è la perdita termica di processo del j-esimo circuito del sottosistema di G-S k-esimo, [kWh];

$k_{X,g-s,k,j}$  è la frazione recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del j-esimo circuito primario del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, assunta pari a 0,85;

$W_{X,g-s,k,j}$  è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del j-esimo circuito del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [kWh];

$\Phi_{N,gh,j}$  è la potenza termica utile nominale del generatore termico collegato al j-esimo circuito del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo, [kWh];

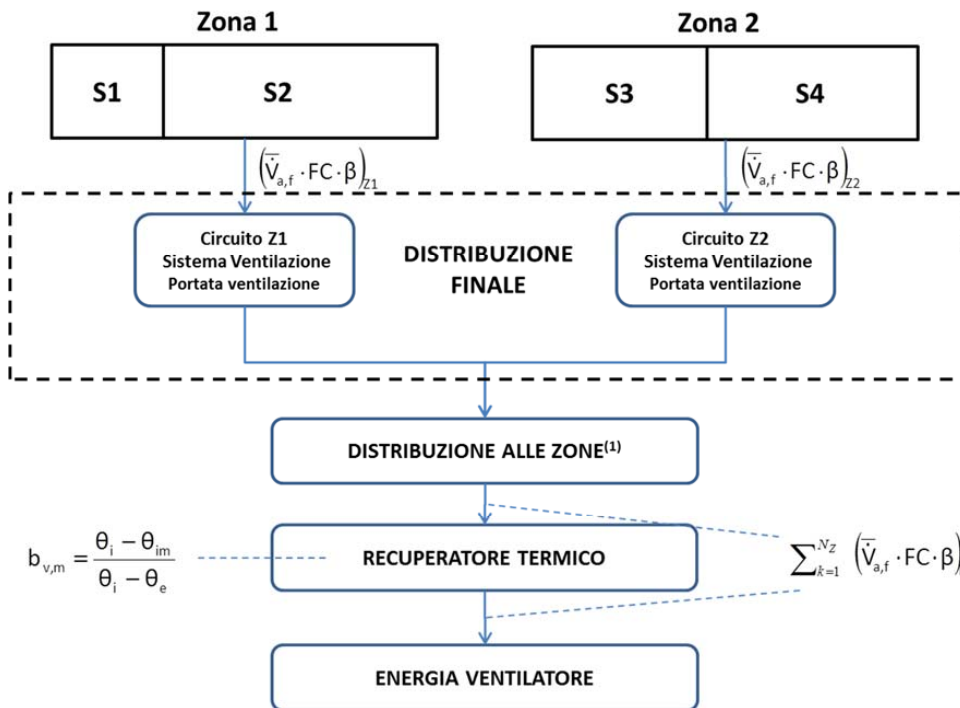
$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Per ottenere il fabbisogno di energia elettrica del j-esimo circuito del sottosistema di distribuzione G-S k-esimo si combinano le equazioni precedenti ottenendo:

$$W_{X,g-s,k,j} = \frac{\Delta t \cdot \sum_p \dot{W}_{X,g-s,k,j,p} \cdot (Q_{X,g-s,out,k,j} + Q_{X,g-s,ls,k,j})}{\Phi_{N,gh,j} \cdot \Delta t + k_{X,g-s,k,j} \cdot \Delta t \cdot \sum_p \dot{W}_{X,g-s,k,j,p}} = \frac{\sum_p \dot{W}_{X,g-s,k,j,p} \cdot (Q_{X,g-s,out,k,j} + Q_{X,g-s,ls,k,j})}{\Phi_{N,gh,j} + k_{X,g-s,k,j} \cdot \sum_p \dot{W}_{X,g-s,k,j,p}} \quad (9.63)$$

## 10 Fabbisogno di energia termica ed elettrica del servizio ventilazione

Un sistema di ventilazione è cosa diversa da un sistema di climatizzazione ambientale impiegante anche aria quale fluido termovettore. Ai fini del presente dispositivo si intende quindi con servizio di ventilazione quel servizio che è esclusivamente finalizzato all'immissione di aria esterna negli ambienti ai fini del controllo della qualità dell'aria (riduzione della concentrazione degli inquinanti tramite diluizione per miscelamento). Di conseguenza il sistema impiantistico asservito a tale servizio, se dedicato e non condiviso con altri servizi (riscaldamento e/o umidificazione, raffrescamento e/o deumidificazione), non opera alcun trattamento termodinamico dell'aria esterna se non il solo recupero termico statico sull'aria di espulsione.



<sup>(1)</sup> Nei sistemi di sola ventilazione le perdite di massa dei canali si ritengono ininfluenti ai fini del calcolo dell'energia assorbita dal ventilatore.

Figura 0.1 – Schema sottosistemi servizio ventilazione

### 10.1 Fabbisogno termico lordo di energia per la ventilazione

Il sistema di ventilazione, in quanto tale, non richiede energia termica per il suo funzionamento. Le uniche necessità di applicazione di un bilancio termico a suoi sottosistemi sono dovute al surriscaldamento o sotto-

raffreddamento dell'aria esterna immessa negli ambienti per effetto delle perdite o guadagni termici dei canali o condotti dell'aria quando attraversano spazi non climatizzati.

Quindi, per definizione, il fabbisogno termico lordo annuo richiesto per la ventilazione è pari a:

$$Q_{V,g,out} = \sum_{m=1}^{12} [Q_{V,g,out,m} = 0] = 0 \quad (0.1)$$

dove:

$Q_{V,g,out,m}$  è la richiesta mensile di energia termica al sistema di generazione per la ventilazione pari sempre a zero, [kWh];

$m$  numero del mese.

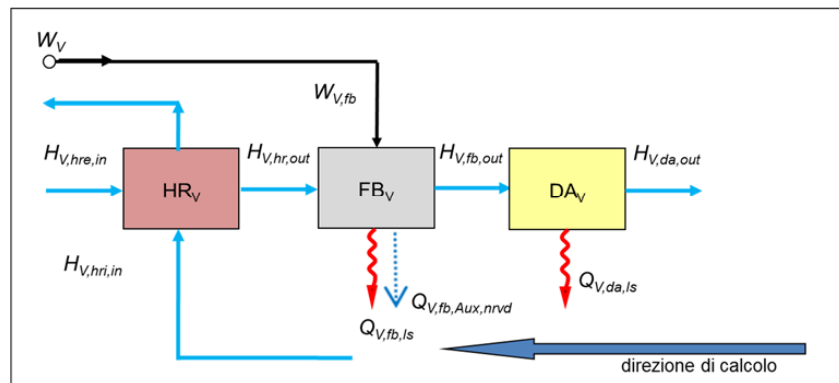


Figura 0.2 – Schema funzionale sottosistemi servizio ventilazione

In Figura 0.2 è riportato lo schema funzionale del servizio di ventilazione, costituito dai tre sottosistemi: recuperatore termico (HR), ventilatore (FB) e distribuzione aeraulica (DA). L'unica richiesta energetica possibile è quella elettrica per l'alimentazione del ventilatore; mentre vi possono essere delle perdite termica da parte della distribuzione aeraulica e dal ventilatore.

Il significato dei simboli riportati in figura sono:

$W_V$  è la richiesta di energia elettrica degli ausiliari del sistema di ventilazione alla centrale elettrica, cioè del ventilatore, [kWh];

$W_{V,fb}$  è la richiesta di energia elettrica del ventilatore, [kWh];

$Q_{V,fb,ls}$  è la perdita termica di processo del ventilatore, [kWh];

$Q_{V,fb,Aux,nrvd}$  è la perdita termica non recuperabile del motore del ventilatore, [kWh];

$Q_{V,da,ls}$  è la perdita termica di processo della distribuzione aeraulica, [kWh];

$H_{V,hre,in}$  è l'entalpia del flusso d'aria esterna in ingresso al recuperatore termico, [kWh];

$H_{V,hri,in}$  è l'entalpia del flusso d'aria interna in ingresso al recuperatore termico, [kWh];

$H_{V,hre,out}$  è l'entalpia del flusso d'aria esterna in uscita dal recuperatore termico, [kWh];

$H_{V,fb,out}$  è l'entalpia del flusso d'aria esterna in uscita dal ventilatore, [kWh];

$H_{V,da,out}$  è l'entalpia del flusso d'aria esterna in uscita dalla distribuzione aeraulica, [kWh].

## 10.2 Fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari per la ventilazione

Il fabbisogno annuo lordo di energia elettrica da parte degli ausiliari del sistema di ventilazione,  $W_v$ , si determina come:

$$W_v = \sum_{m=1}^{12} W_{v,m} \quad (0.2)$$

dove:

$W_{v,m}$  è la richiesta mensile di energia elettrica degli ausiliari del sistema di ventilazione alla centrale elettrica, [kWh];

$m$  numero del mese.

Il fabbisogno mensile lordo di energia elettrica da parte degli ausiliari, ovvero la richiesta mensile di energia elettrica alla centrale elettrica, è dovuto alla presenza di elettroventilatori, e si calcola come segue:

$$W_{v,m} = \sum_{j=1}^{N_z} \left( \sum_{i=k}^{N_j} \dot{W}_{ve,k} \cdot FC_{ve,adj,k} \right)_{j,m} \cdot \Delta t \quad (0.3)$$

dove:

$\dot{W}_{ve,k}$  è la potenza elettrica di progetto del ventilatore che fornisce la portata relativa al flusso k-esimo d'aria per la zona j-esima, [W];

$FC_{ve,adj,k}$  è il fattore di carico della ventilazione meccanica del flusso k-esimo della zona j-esima;

$N_j$  è il numero di flussi d'aria per la zona j-esima; [-];

$N_z$  è il numero di zone; [-];

$\Delta t$  è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Il fattore di carico  $FC_{ve,adj,k}$  del ventilatore del flusso k-esimo della zona j-esima si calcola come segue:

$$FC_{ve,adj,k} = FC_{v,k} \cdot \beta_k \quad (0.4)$$

dove:

$FC_v$  il fattore di efficienza della regolazione dell'impianto di ventilazione meccanica rilevabile dal Prospetto 3.XXIV, [-];

$\beta_k$  è la frazione dell'intervallo temporale di calcolo con ventilazione meccanica funzionante per il flusso d'aria k-esimo;

$k$  indica il flusso d'aria k-esimo.

La potenza elettrica di progetto del k-esimo ventilatore è quella che si ricava dalla curva caratteristica del ventilatore per la portata di progetto,  $\dot{V}_{af,k}$ , equazione (3.55); se non disponibile si può utilizzare la potenza di targa.