

## **APPENDICE 11 AL CAPITOLATO TECNICO**

### **METODOLOGIA DI CALCOLO DEI FABBISOGNI ENERGETICI TERMICI**



La metodologia di calcolo del fabbisogno energetico calcolato " $J_{ck}$ " si basa sulla norma **EN ISO 13790-2008** con metodo mensile secondo la procedura di seguito riportata.

1. Determinazione delle seguenti caratteristiche termofisiche dell'edificio per ogni superficie disperdente j-esima e ogni zona termica k-esima:
  - Superfici disperdenti ( $A_j$ );
  - coefficienti di riduzione ( $b_j$ ) (max=1 se la superficie è a contatto con l'ambiente esterno);
  - Trasmittanze ( $U_j$ );
  - Volumi riscaldati ( $V_k$ );
  - Ricambi d'aria orari ( $n_k$ ).
2. Determinazione del numero di ricambi d'aria orari n ( $n_k$ ) secondo le seguenti modalità:
  - pari a 0,5 per tutte le zone termiche dotate di sola ventilazione naturale
  - pari al valore di progetto per impianti dotati di ventilazione forzata. La eventuale presenza di un recuperatore di calore (entalpico o termico) deve essere conteggiata come riduzione del numero di volumi/ora; se tale operazione non è effettuata nel calcolo del valore di progetto si procede moltiplicando il numero di ricambi d'aria orari  $n_k$  di progetto per  $(1-\varepsilon_r)$  dove  $\varepsilon_r$  rappresenta l'efficienza del recuperatore di calore.
3. Definizione della temperatura interna dei locali riscaldati ( $\Theta_i$ ) e determinazione delle temperatura esterna media mensile ( $\Theta_e$ ).
4. Determinazione dei guadagni interni ( $\Phi_p$ ) per occupazione, apparecchiature, illuminazione, acqua calda di rete e reflua, impianti di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, processi e prodotti.
5. Determinazione dei guadagni per irraggiamento solare tramite i seguenti coefficienti:
  - Fattore di riduzione per ombreggiatura per ostacoli esterni ( $F_m$ ), sono escluse quindi le ombreggiature dovute ad elementi appartenenti al medesimo edificio;
  - Area di captazione ( $A_m$ );
  - Irradianza solare ( $I_m$ ).
6. Determinazione della dispersione termica per conduzione e ventilazione ( $Q_{HHT}$ ) per ogni mese la cui durata t, del mese stesso, è espressa in ore:

$$Q_{HHT} = (H_{TR} + H_{VE}) * (\Theta_i - \Theta_e) * t = \left( \sum_j b_j * A_j * U_j + 0,35 * \sum_k n_k * V_k \right) * (\Theta_i - \Theta_e) * t$$

dove:

$H_{TR}$  = coefficiente di dispersione termica per conduzione

$H_{VE}$  = coefficiente di dispersione termica per ventilazione

7. Determinazione dei guadagni energetici ( $Q_{HGN}$ ) mensili:

$$Q_{HGN} = \sum_p \Phi_p * t + \sum_m F_m * A_m * I_m$$

dove:



$\Phi_p$  = guadagni interni (occupazione, apparecchiature, illuminazione, acqua calda di rete e reflua, impianti di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, processi e prodotti)

$F_m$  = Fattore di riduzione per ombreggiatura

$A_m$  = Area di captazione

$I_m$  = Irradianza solare

8. Determinazione dell'indicatore sui guadagni termici ( $\gamma_H$ ):

$$\gamma_H = \frac{Q_{HGN}}{Q_{HHT}}$$

9. Determinazione della capacità termica interna dell'edificio ( $C_m$ ):

$$C_m = X * 10^3 * A_f$$

essendo "X" la capacità termica interna per unità di superficie calpestabile climatizzata dell'edificio definita tramite la seguente tabella:

Capacità termica dell'edificio	X
Leggera	80
Leggera - Media	110
Media	165
Media - Pesante	260
Pesante	370

e  $A_f$  la superficie calpestabile climatizzata dell'edificio.

10. Determinazione della costante di tempo dell'edificio ( $\tau$ ):

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{TR} + H_{VE}}$$

11. Determinazione del coefficiente  $a_H$  essendo:

$$a_H = a_{H0} + \frac{\tau}{\tau_{H0}} = 1 + \frac{\tau}{15}$$

12. Determinazione dell'indice,  $\eta_H$  essendo:

$$\eta_H = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \leftarrow se \{ \gamma_H > 0; \gamma_H \neq 1 \}$$

$$\eta_H = \frac{a_H}{1 + a_H} \leftarrow se \{ \gamma_H = 1 \}$$



$$\eta_H = \frac{1}{\gamma_H} \leftarrow se(\gamma_H < 0)$$

13. Calcolo del fabbisogno energetico dell'involucro edilizio in condizioni continue  $Q_{HND}$ :

$$\text{Riscaldamento} \rightarrow Q_{HND} = Q_{HHT} - \eta_H * Q_{HGN}$$

14. Determinazione della durata del comfort giornaliero richiesto, definito ( $ORE_{RG}$ ):

L'Amministrazione, in fase di Audit preliminare di Fornitura, individua per ogni sistema edificio-impianto una settimana tipo in cui determina le ore di comfort che richiederà al Fornitore, durante lo svolgimento delle attività del presente contratto. Verranno computate le ore di comfort settimanali ( $ORE_{RS}$ ) mediante somma delle ore di comfort previste nella settimana tipo in cui si richiede l'erogazione del Servizio Energia "A". La durata del comfort giornaliero richiesto, in fase di Audit preliminare di Fornitura ( $ORE_G$ ) è il rapporto tra le ore di comfort settimanali ( $ORE_{RS}$ ) e  $n$ , dove  $n$  è il numero di giorni in cui viene fornito il servizio di comfort. Viene considerato giorno di fornitura il giorno in cui il numero di ore di comfort richiesto è uguale o superiore alla metà delle ore medie giornaliere calcolate mediante rapporto tra numero di ore settimanali  $ORE_{RS}$  e il numero di giorni in cui è richiesta anche una sola ora di comfort. Si ricorda che le ore di funzionamento dell'impianto non contemporanee al comfort (es domenica notte in una scuola) non vengono computate né come ore settimanali  $ORE_{RS}$  né come giorni in cui è richiesto il comfort.

L'Amministrazione, per ogni stagione termica, può richiedere ore di comfort diverse da quelle definite in fase di Audit preliminare di fornitura. Per ogni stagione termica vengono perciò computate le ore di Riscaldamento Equivalenti Reali " $ORE_R$ ", come definito al par. 13.1.1.1.

Mediante semplice rapporto tra il numero delle " $ORE_R$ " e il numero di settimane equivalenti " $SET_E$ " viene calcolato il numero di ore settimanali " $ORE_{RS}$ ". Il numero di settimane equivalenti " $SET_E$ " è la divisione del numero di giorni della stagione termica effettiva per 7 (giorni della settimana), arrotondato, se necessario all'unità superiore.

Il numero di ore settimanali " $ORE_{RS}$ " viene diviso per  $n$ , dove  $n$  è il numero di giorni in cui viene fornito il servizio di comfort e calcolato il numero di ore giornaliere " $ORE_{RG}$ ". Viene considerato giorno di fornitura il giorno in cui il numero di ore di comfort richiesto è uguale o superiore alla metà delle ore medie giornaliere calcolate mediante rapporto tra numero di ore settimanali  $ORE_{RS}$  e il numero di giorni in cui è richiesta anche una sola ora di comfort.

15. Determinazione dell'effetto intermittenza ( $a^*_H$ ):

L'indice  $a^*_H$  viene estratto dalla seguente tabella a doppio ingresso in funzione della k-esima classe di capacità termica dell'edificio, a scelta tra quelle indicate nelle righe, e della h-esima fascia di durata del comfort giornaliero reale richiesto, definita attraverso il parametro ( $ORE_G/ORE_{RG}$ ) calcolato mediante quanto definito al punto precedente, a scelta tra le fasce di durate proposte nelle colonne.

Capacità termica	$ORE_G/ORE_{RG}$ 0 – 6	$ORE_G/ORE_{RG}$ 6 – 9	$ORE_G/ORE_{RG}$ 9 – 12	$ORE_G/ORE_{RG}$ 12 – 15	$ORE_G/ORE_{RG}$ 15 – 24
Leggera	0,19999	0,41342	0,52341	0,63339	0,85335



Media	0,39071	0,52445	0,61362	0,70278	0,88111
Pesante	0,68376	0,75318	0,79945	0,84573	0,96143

Con la medesima modalità si individuano, nei casi previsti al paragrafo 13.1.1.1 del Capitolato Tecnico, i valori “ $a^*_{HORE-RG}$ ” e “ $a^*_{HORE-G}$ ”.

Nel caso in cui, in fase di Audit preliminare di Fornitura in cui si definisce la capacità termica dell’edificio, sia difficoltoso (e/o non condiviso tra le parti) individuare la capacità termica, è possibile utilizzare due ulteriori categorie intermedie “leggera-media” e “media-pesante” mediante interpolazione lineare (media) tra i valori della classe inferiore e superiore alla nuova classe generata.

16. Determinazione Fabbisogno Energetico dell’involucro edilizio in condizioni di funzionamento intermittente per ognuno dei mesi della stagione termica ( $Q_{Hmens}$ ):

$$Q_{Hmens} = a_H^* * Q_{HND} = a_H^* * (Q_{HHT} - \eta_H * Q_{HGN})$$

$$Q_{Hmens} = a_H^* * \left\{ \left( \sum_j b_j * A_j * U_j + 0,35 * \sum_k n_k * V_k \right) * (\theta_i - \theta_e) * t - \eta_H * Q_{HGN} \right\}$$

Successivamente alla definizione del fabbisogno energetico di seguito si esplicita la metodologia di calcolo del **rendimento dell’impianto**  $\eta_i$ , semplificata e valutabile secondo le modalità di seguito riportate.

17. Definizione del valore  $\eta_{er}$ :

Il valore  $\eta_{er}$  è dato dal prodotto dei rendimenti di emissione  $\eta_e$  e regolazione  $\eta_r$  ed è posto pari a **0,95** indipendentemente dal tipo di terminali di emissione utilizzati e dal tipo di sistema di regolazione.

18. Definizione del rendimento di distribuzione  $\eta_d$ :

Il valore di rendimento di distribuzione è definito in funzione della configurazione del sistema impiantistico secondo quanto indicato dalla successiva tabella; il valore è indipendente dal sistema di emissione presente nel sistema impiantistico.



Tipo di impianto	Tipo di distribuzione	Numero di piani	Isolamento distribuzione nel cantinato			
			Insufficiente Prima del 1961	Medio Tra 1961-1976	Discreto Tra 1977-1993	Legge 10/91 Dopo il 1993
IMPIANTO CENTRALIZZATO	VERTICALE. Montanti in traccia nei paramenti interni. Isolamento secondo legge 10/91. Tubazioni posteriori al 1993.	1	$\eta_d$			
		2				0,936
		3				0,947
		4				0,958
		5 e più				0,969
IMPIANTO CENTRALIZZATO	VERTICALE. Montanti in traccia nei paramenti interni o nell'intercapedine. Isolamento leggero. Tubazioni realizzate tra il 1993 e il 1977.	1				0,98
		2	0,856	0,868	0,880	0,908
		3	0,889	0,901	0,913	0,925
		4	0,904	0,917	0,927	0,939
		5 e più	0,915	0,927	0,938	0,949
IMPIANTO CENTRALIZZATO	VERTICALE. Montanti correnti nell'intercapedine. Senza isolamento. Tubazioni precedenti al 1977	1	0,922	0,934	0,943	0,955
		2	0,824	0,851	0,876	0,901
		3	0,876	0,901	0,925	0,913
		4	0,889	0,913	0,936	0,925
		5 e più	0,901	0,913	0,936	0,936
IMPIANTO CENTRALIZZATO	ORIZZONTALE	Fino a 3	0,913	0,925	0,947	0,947
		Oltre a 3	0,947	0,958	0,969	0,980
IMPIANTO AUTONOMO			0,958	0,969	0,980	0,990

#### 19. Definizione del rendimento di generazione $\eta_G$ :

Il rendimento di generazione è definito secondo al seguente equazione:

$$\eta_G = \eta_C * fg$$

dove:

$\eta_C$  = rendimento di combustione valutato a partire dal rendimento misurato in opera secondo le modalità cogenti e pari alla media delle ultime tre misure registrate sul libretto di centrale;

$fg$  = fattore di riduzione impiantistico pari 0,95.

#### 20. Definizione del rendimento di impianto $\eta_i$ :

Il rendimento di impianto è definito secondo al seguente equazione:

$$\eta_i = \eta_G * \eta_d * 0,95$$

Essendo i valori costanti per l'intera stagione di riscaldamento il valore risulta anch'esso costante.

La metodologia di calcolo del fabbisogno di energia primaria risulta valutabile secondo le modalità di seguito riportate.



21. Definizione del fabbisogno di energia primaria del singolo mese  $J_{mens}$ :

Il fabbisogno di energia primaria per il singolo mese  $J_{mens}$  viene valutato secondo la seguente equazione:

$$J_{mens} = \frac{Q_{Hmens}}{\eta_i}$$

dove:

$J_{MENS}$  = Fabbisogno di energia primaria per il singolo mese;

$Q_{Hmens}$  = Fabbisogno Energetico dell'involucro edilizio calcolato su base mensile nel caso di funzionamento intermittente, definito al precedente p.to 16;

$\eta_i$  = rendimento di impianto.

22. Definizione del fabbisogno calcolato di energia primaria stagionale  $J_{CK}$ :

Il fabbisogno calcolato di energia primaria stagionale  $J_{CK}$  per il k-esimo sistema edificio impianto viene valutato secondo la seguente equazione:

$$J_{CK} = \sum_i J_{mens}$$

dove:

$J_{CK}$  = Fabbisogno calcolato di energia primaria stagionale;

$J_{mens}$  = Fabbisogno di energia primaria per il singolo mese;

i = mesi della stagione termica.



## Allegato

Definizione delle trasmittanze medie dei serramenti esterni, delle pareti esterne e dei solai esterni:

- $U_w$  = trasmittanza media dei serramenti esterni, in  $W/m^2 \cdot K$ ;
- $U_p$  = trasmittanza media delle pareti esterne, in  $W/m^2 \cdot K$ ;
- $U_s$  = trasmittanza media dei solai esterni, in  $W/m^2 \cdot K$ .

I valori sono determinati attraverso le seguenti tabelle:

SERRAMENTI	Kw
Vetrate con infissi in legno	5,00
Vetrate con infissi in metallo	5,80
Vetrate con infissi in legno (vetri doppi)	3,10
Vetrate con infissi in metallo (vetri doppi)	3,90

SOLAI	Ks
Solaio misto cls e forati/forati su putrelle (h=20 cm .ca) con pavimento litoide	1,70
Solaio misto cls e forati/forati su putrelle (h=20 cm .ca) con pavimento riv. in legno	1,47
Solaio pieno in cls (h=10 cm .ca) con pavimento litoide	3,49
Solaio pieno in cls (h=10 cm .ca) con pavimento riv. in legno	2,79
Voltine di mattoni pieni su putrelle con pavimento litoide	2,44
Voltine di mattoni pieni su putrelle con pavimento riv. In legno	2,09
Solaio in legno con travi inferiori in vista con pavimento litoide	2,79
Solaio in legno con travi inferiori in vista con pavimento riv. In legno	2,33
Solaio cls plafonato infer. con tavolato o graticcio intonacato con pavimento litoide	1,86
Solaio cls plafonato infer. con tavolato o graticcio intonacato con pavimento riv. in legno	1,63
Solaio a volte di mattoni pieni con pavimento litoide	1,51
Solaio a volte di mattoni pieni con pavimento riv. In legno	1,40

PARETI DISTINTE PER TIPOLOGIA STRUTTURALE DELL'EDIFICIO (lo spessore s comprende l'intonaco ed è espresso in cm)	Kp
Prefabbricati pesanti in cls: $10 \leq s \leq 15$	3,32
Prefabbricati pesanti in cls: $15 < s \leq 20$	2,97
Prefabbricati pesanti in cls: $20 < s \leq 25$	2,68
Prefabbricati pesanti in cls: $25 < s \leq 30$	2,45
Prefabbricati pesanti in cls: $30 < s \leq 35$	2,19
Prefabbricati pesanti in cls: $35 < s \leq 40$	2,02
Prefabbricati pesanti in cls: $40 < s \leq 45$	1,86





PARETI DISTINTE PER TIPOLOGIA STRUTTURALE DELL'EDIFICIO (lo spessore s comprende l'intonaco ed è espresso in cm)	Kp
Struttura reticolare in c.a./acciaio: pannelli s = 10 .ca	0,90
Struttura reticolare in c.a./acciaio: 20 ≤ s ≤ 25	1,41
Struttura reticolare in c.a./acciaio: 25 < s ≤ 30	1,29
Struttura reticolare in c.a./acciaio: 30 < s ≤ 35	1,13
Struttura reticolare in c.a./acciaio: 35 < s ≤ 40	1,00
Struttura reticolare in c.a./acciaio: 40 < s ≤ 45	0,88
Struttura reticolare in c.a./acciaio: 45 < s ≤ 50	0,77
Struttura portante in mattoni pieni: 20 ≤ s ≤ 30	1,85
Struttura portante in mattoni pieni: 30 < s ≤ 40	1,72
Struttura portante in mattoni pieni: 40 < s ≤ 50	1,31
Struttura portante in mattoni pieni: 50 < s ≤ 60	1,16
Struttura portante in pietrame: 30 ≤ s ≤ 40	2,38
Struttura portante in pietrame: 40 < s ≤ 50	2,09
Struttura portante in pietrame: 50 < s ≤ 60	1,86
Struttura portante in pietrame: 60 < s ≤ 70	1,69
Struttura portante in pietrame: 70 < s ≤ 80	1,56
Struttura portante in pietrame: 80 < s ≤ 90	1,45
Struttura portante in pietrame: 90 < s ≤ 100	1,34
Struttura portante in pietrame: 100 < s ≤ 110	1,22
Struttura portante in pietrame: 110 < s ≤ 120	1,13

Nel caso in cui alle pareti esterne sia applicato uno strato di isolante termico di spessore  $s_t$ , in metri, si ridurrà Kp ad un valore K'p pari a:

$$K'p = \frac{1}{\frac{1}{Kp} + \frac{s_t}{0,04}}$$

Nel caso in cui ai solai esterni sia applicato uno strato di isolante termico di spessore  $s_v$ , in metri, si ridurrà Ks ad un valore K's pari a:

$$K's = \frac{1}{\frac{1}{Ks} + \frac{s_v}{0,04}}$$