

CAPITOLO 9

IMPIANTI DI RISCALDAMENTO: ASPETTI CLIMATICI ED ENERGETICI

9.1 Generalità

In generale **progettare un impianto di riscaldamento** (o di condizionamento dell'aria) significa **proporzionare i suoi componenti** perché risultino adeguati al compito di mantenere negli ambienti la temperatura **interna desiderata** (e umidità relativa nel caso di condizionamento) in corrispondenza a **condizioni climatiche esterne significative**. In taluni casi le condizioni climatiche esterne da assumersi per il dimensionamento degli impianti saranno prescritte da **leggi**. Come si ricorderà, gli impianti centralizzati devono prevedere dispositivi di regolazione per adeguare la potenzialità termica dell'impianto alle effettive condizioni climatiche esterne mediamente meno gravose di quelle assunte a base del progetto.

Con riferimento agli **impianti di riscaldamento**, è necessario prendere le mosse, per le diverse località, da informazioni e dati climatici sulle *temperature esterne*, *apporti solari*, *velocità del vento*, mentre nel caso di **condizionamento dell'aria** avremo necessità anche di dati relativi all'*umidità dell'aria esterna*.

Stante la natura, in parte deterministica e in parte casuale, delle grandezze meteorologiche, l'analisi dei dati misurati richiede sempre indagini di tipo statistico e probabilistico. In generale, l'importanza della componente stocastica è tanto più grande quanto più è breve il periodo su cui si valuta un grandezza meteorologica. Ad esempio, in un determinato luogo il valore medio giornaliero della temperatura dell'aria può deviare considerevolmente dai valori tipici stagionali (ricavati dalle serie storiche dei valori della temperatura), mentre il valore medio mensile della stessa grandezza presenterà una deviazione minore.

Sul piano pratico è opportuno distinguere tra **dati climatici per la progettazione degli impianti di riscaldamento** e quelli per **gli impianti di climatizzazione estiva** di cui si parlerà in seguito.

9.2 Parametri climatici per il riscaldamento

Le grandezze che interessano particolarmente la progettazione e la verifica del perimetro e il dimensionamento degli impianti di riscaldamento sono:

$$\left. \begin{array}{l} \text{temperatura esterna di progetto, } t_e \\ \text{numero di gradi - giorno, GG} \\ \text{numero di giorni di riscaldamento, N} \end{array} \right\}$$

9.2.1 Temperatura esterna di progetto, t_e

Per abitazioni la **temperatura interna** t_a è fissata per legge a **20** [°C], salvo casi particolari. Anche la temperatura minima esterna stagionale t_e o **temperatura esterna di progetto** viene stabilita per legge per le diverse località. La differenza ($t_a - t_e$) è detta **escursione termica massima** e determina la **potenzialità dell'impianto**.

Ad esempio, se un edificio a Genova (escursione termica massima $t_a - t_e = 20$ [°C]) richiede un generatore di calore di potenzialità **P** [W]; lo stesso edificio, in alta montagna (ove $t_a - t_e = 40$ [°C]), richiede un generatore di potenza **2·P**.

Per definire correttamente la t_e vengono adottati criteri sia di tipo statistico (probabilità che si verifichi un certo valore di temperatura esterna) che di tipo fisico-statistico, che tengono conto anche del comportamento termico dell'edificio. È noto, infatti, che ad abbassamenti di temperatura anche rilevanti, ma di breve durata, l'edificio fa fronte con la propria capacità termica. Pertanto, riferirsi a minimi di temperatura porterebbe a sovradimensionamenti eccessivi.

Dopo queste brevi considerazioni sulla valutazione della t_e è opportuno notare che, per molte località, le t_e da adottarsi sono definite dalla **legge n° 10 del 1991** (e del relativo Regolamento d'applicazione n. 412 del 1993) (vedi Tabella).

Temperatura dell'aria esterna di progetto (da "Regolamento di esecuzione Legge n. 373 del 30.4.1976", DPR n. 1052 del 28.6.1977)

Torino	-8	Bologna	-5	Matera	-2
Alessandria	-8	Ferrara	-5	Reggio Calabria	3
Asti	-8	Forlì	-5	Catanzaro	-2
Cuneo	-10	Modena	-5	Cosenza	-3
Alta valle cuneese	-15	Parma	-5	Palermo	5
Novara	-5	Piacenza	-5	Agrigento	3
Vercelli	-7	Provincia di Piacenza	-7	Caltanissetta	0
Aosta	-10	Ravenna	-5	Catania	0
Valle d'Aosta	-15	Reggio Emilia	-5	Enna	-3
Alta Valle d'Aosta	-20	Ancona	-2	Messina	5
Genova	0	Ascoli Piceno	-2	Ragusa	0
Imperia	0	Macerata	-2	Siracusa	5
La Spezia	0	Pesaro	-2	Trapani	5
Savona	0	Firenze	0	Cagliari	3
Milano	-5	Arezzo	0	Nuoro	0
Bergamo	-5	Grosseto L.	0	Sassari	2
Brescia	-7	Livorno	0		
Como	-5	Lucca	0		
Provincia di Como	-7	Massa Carrara	0		
Cremona	-5	Pisa	0		
Mantova	-5	Siena	-2		
Pavia	-5	Perugia	-2		
Sondrio	-10	Terni	-2		
Alta Valtellina	-15	Roma	0		
Varese	-5	Frosinone	0		
Trento	-12	Latina	2		
Bolzano	-15	Rieti	-3		
Venezia	-5	Viterbo	-2		
Belluno	-10	Napoli	2		
Padova	-5	Avellino	-2		
Rovigo	-5	Benevento	-2		
Treviso	-5	Caserta	0		
Verona	-5	Salerno	2		
Verona (zona lago)	-3	L'Aquila	-5		
Verona (zona montagna)	-10	Chieti	0		
Vicenza	-5	Pescara	2		
Vicenza (zona altipiani)	-10	Teramo	0		
Trieste	-5	Campobasso	-4		
Gorizia	-5	Bari	0		
Pordenone	-5	Brindisi	0		
Udine	-5	Foggia	0		
Bassa Carnia	-7	Lecce	0		
Alta Carnia	-10	Taranto	0		
Tarvisio	-15	Potenza	-3		

Ove si tratti di località non espressamente indicata è opportuno adottare quale temperatura esterna quella della località più vicina indicata nell'elenco, modificandola opportunamente:
a) per tener conto della diversa altitudine sul livello del mare:
temperatura invariata sino a circa 200 m di differenza di quota;
diminuzione (o aumento) di 1 °C per ogni 200 m di quota maggiore (o minore), oltre 200 m;
b) per tener conto della diversa situazione dell'ambiente:
temperatura invariata, salvo correzione di altezza, in un complesso urbano;
diminuzione di 0,5-1 °C in piccoli agglomerati;
diminuzione di 1-2 °C in edifici isolati;
c) per tener conto dell'altezza degli edifici, limitatamente ai piani di altezza maggiore di quella degli edifici vicini (inclusa la diminuzione di cui alla lettera b):
diminuzione di 1-2 °C.

9.2.2 Gradi-giorno (GG) e numero giorni di riscaldamento (N)

Il **grado-giorno** costituisce, assieme alla t_e , il più **importante parametro climatico** per la progettazione edilizia. Infatti, la legislazione nazionale sul risparmio energetico utilizza il **grado-giorno** come elemento fondamentale per:

- *classificare il territorio in zone climatiche;*
- *dimensionare l'edificio sotto il profilo termico;*
- *determinare il periodo convenzionale d'accensione degli impianti.*

Il numero di gradi-giorno di una località viene determinato sulla base di rilevamenti sistematici della temperatura esterna delle località interessate. In particolare, la procedura per la sua determinazione è la seguente:

- 1) si prendono in considerazione i valori della temperatura media giornaliera che, per un adeguato numero di anni, si sono verificati nella località;
- 2) a partire dall'autunno si procede giorno per giorno, fino a quando non si trova il primo giorno in cui la temperatura media giornaliera risulti minore di 12 [°C].

Si identifica questo giorno con l'indice $j = 1$ e si indica la temperatura media giornaliera corrispondente come t_{e1} ; si contano, quindi, i giorni fino al valore $j = N$, cui ancora si verifichi la condizione $t_{eN} < 12$ [°C]. Il numero N ottenuto rappresenta il **numero di giorni in cui è possibile per legge l'accensione degli impianti di riscaldamento centralizzati**.

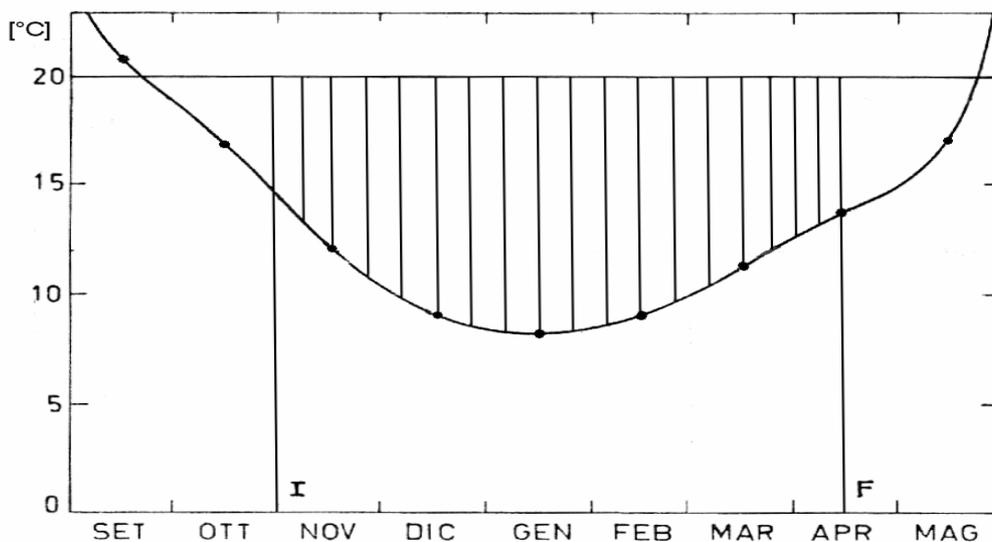
Il numero di gradi-giorno della località GG si valuta come:

$$GG = \sum_{j=1}^{j=N} (t_a - t_{ej}) \cdot 1 = \sum_{j=1}^{j=N} (20 - t_{ej})$$

Ad esempio, per Genova risulta:

$N = 166$ (dal 1° Novembre al 15 Aprile); $GG = 1435$.

Con riferimento alla figura sottostante, si può notare come il numero di gradi-giorno sia stato ottenuto sommando, a partire dalle date convenzionali d'inizio (I) e di fine (F) del riscaldamento e quindi per $j = 1$ fino a $j = N$, le differenze di temperature giornaliere ($t_a - t_{ej}$).



Si può anche scrivere:

$$GG = N \cdot (t_a - t_{em})$$

ove: t_{em} = temperatura media stagionale della località.

Il concetto di gradi-giorno è **importante** perché consente di stimare, almeno in prima approssimazione, l'**energia termica dispersa** da un edificio nell'arco della stagione invernale. Sulla base di un bilancio termico in condizioni medie stazionarie il flusso termico φ disperso dall'edificio è:

$$\varphi = \varphi_v + \varphi_d$$

ove:

φ_v = potenza termica dispersa per ventilazione [W];

φ_d = potenza termica dispersa per trasmissione attraverso l'involucro edilizio [W].

I termini φ_v e φ_d possono, a loro volta, essere espressi nella forma:

$$\varphi_v = C_v \cdot V \cdot (t_a - t_e)$$

$$\varphi_d = C_d \cdot V \cdot (t_a - t_e)$$

ove C_v e C_d prendono il nome di **coefficienti volumici di dispersione termica** rispettivamente di **ventilazione** e di **trasmissione termica** dell'edificio. Le dimensioni di C_v e C_d sono [W/m³K] e, pertanto, ciascun coefficiente rappresenta l'**entità del relativo disperdimento** per unità di volume dell'edificio e unità di differenza di temperatura.

Durante il giorno j e cioè durante un intervallo di tempo $\Delta\tau = 3600 \cdot 24 = 86400$ [s] viene dispersa a causa della differenza di temperatura ($t_a - t_{ej}$) un'energia termica Q_j :

$$Q_j = \varphi_j \cdot \Delta\tau = V \cdot (C_d + C_v) \cdot (t_a - t_{ej}) \cdot 86400 \quad [J]$$

La totale quantità d'energia dispersa nell'intera stagione di riscaldamento (N giorni) è:

$$Q = \sum_{j=1}^{j=N} Q_j = (C_d + C_v) \cdot V \cdot 86400 \cdot \sum_{j=1}^{j=N} (t_a - t_{ej}) = (C_d + C_v) \cdot V \cdot 86400 \cdot GG$$

e cioè proporzionale al numero dei gradi-giorno **GG** della località.

Se si conteggia nel bilancio sia la potenza utile fornita dall'impianto φ_i che la potenza termica φ_a originata da apporti energetici gratuiti (carichi termici interni/contributi solari), dovrà essere anche:

$$\varphi = \varphi_i + \varphi_a$$

e in termini di energie totali durante la stagione di riscaldamento:

$$Q = Q_i + Q_a$$

Ovviamente, per fornire tramite l'impianto di riscaldamento l'energia $Q_i = Q - Q_a$ (**energia utile**) all'edificio si dovrà consumare una quantità superiore di **energia primaria** a causa di:

- un rendimento del generatore di calore $\eta_g < 1$;
- di inevitabili disperdimenti termici nella rete di distribuzione del fluido termovettore (rendimento di distribuzione $\eta_d < 1$);
- ulteriori penalizzazioni termiche sia per la non perfetta gestione della regolazione della temperatura interna (rendimento di regolazione $\eta_r < 1$) ai terminali stessi (rendimento di emissione $\eta_e < 1$).

Pertanto, nell'impianto si dovrà mettere in gioco (consumando combustibile) una complessiva energia primaria Q_{pi} pari a:

$$Q_{pi} = \frac{Q_i}{\eta_g \cdot \eta_d \cdot \eta_r \cdot \eta_e}$$

A Q_{pi} si dovrà aggiungere l'**energia primaria** Q_{pe} indirettamente messa in gioco e cioè l'energia primaria consumata nelle centrali termoelettriche per produrre l'energia elettrica utilizzata per far funzionare l'**impianto** (pompe di circolazione, etc.).

L'energia primaria Q_{pe} corrispondente al complessivo consumo di energia elettrica E_e in [kWh]. si valuta sulla base dell'equivalenza stabilita dal Decreto : 10 [MJ] = 1[kWh].

La totale energia primaria utilizzata risulta quindi :

$$Q_p = Q_{pi} + Q_{pe}$$

In sintesi, si definisce **rendimento globale medio stagionale** η :

$$\eta = \frac{\text{fabbisogno globale energia utile}}{\text{totale energia primaria utilizzata}} = \frac{Q_i}{Q_p}$$

In riferimento al rendimento globale medio stagionale η , la totale quantità d'energia primaria consumata Q_p nel corso della stagione di riscaldamento di N giorni:

$$Q_p = (Q_T - Q_a) \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{(C_d + C_v) \cdot V \cdot 86400 \cdot GG - Q_a}{\eta}$$

e cioè Q_p sarà ancora funzione del numero dei gradi-giorno **GG** della località nonché di eventuali apporti energetici gratuiti Q_a .

È opportuno non confondere il significato dei gradi-giorno con la temperatura esterna di progetto per la quale si progetta l'impianto. Infatti, come è già stato precisato, il concetto dei **gradi-giorno** è stato introdotto allo scopo di valutare **l'ordine di grandezza dei consumi di combustibile**, mentre la **temperatura esterna di progetto** concorre a determinare la **potenzialità di un impianto termico**.

In effetti i consumi termici effettivi sono inferiori ai flussi dispersi grazie agli apporti gratuiti di calore (termine $Q_a \neq 0$). In molte legislazioni si tiene conto di ciò semplicemente riducendo i gradi-giorno con l'utilizzo di una temperatura interna effettiva inferiore di uno o due Kelvin a quella fissata dalla nostra legislazione ($t_a = 20$ [°C]).

Si consideri il caso di due località **X** e **Y** a pari temperatura esterna di progetto, e che **X** abbia **GG = 2000** mentre **Y** **GG = 1000**. Ciò significa che *due edifici identici ed ugualmente gestiti, siti uno a X ed uno a Y*, richiedono una centrale termica con **la stessa potenza termica** installata, ma, nell'arco di molte stagioni invernali, l'impianto al servizio dell'edificio di **X** consuma circa una **quantità doppia di combustibile** di quella consumata dall'impianto dell'edificio di **Y**.

Altri dati climatici d'interesse per la progettazione degli impianti sono reperibili nella **Norma UNI 10349**.

9.3 Cenni sulla legislazione per il risparmio energetico

Come già osservato nel Capitolo 1, nel nostro paese il riscaldamento invernale degli edifici impegna circa il 15 % del fabbisogno e cioè circa 29 [Mtep/anno] prevalentemente sotto forma di combustibili fossili (metano, gasolio, etc.). A questo consumo di energia primaria corrisponde l'immissione nell'atmosfera di circa 78 milioni di tonnellate di CO₂ con il relativo impatto su possibili effetti di riscaldamento della Terra (effetto serra).

In conseguenza il dimensionamento dell'involucro edilizio, il consumo di energia primaria per il suo riscaldamento, l'impianto termico e la sua conduzione sono stati, pertanto, oggetto di molti e sempre più stringenti interventi legislativi e normativi. Ad esempio, la legge n. 10 del 9 gennaio 1991 a titolo "*Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*" e il regolamento D.P.R. n. 412 del 26.08.1993 recante "*Norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi d'energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, legge 9.01.91 n.10*".

La normativa è stata, inoltre, aggiornata dal D.L. 19 agosto 2005, n. 192, a titolo "*Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*".

Quest'ultimo decreto si propone, in sintonia con la normativa europea del settore, di estendere l'attenzione del progettista a tutte le componenti del sistema **edificio-impianto** evitando di focalizzarla sul **solo isolamento termico**. Come visto, l'attuale quadro prevede di tener conto di:

- *energia termica consumata direttamente nel generatore di calore;*
- *energia termica consumata nelle centrali termoelettriche per produrre l'energia elettrica che è stata utilizzata dall'impianto (pompe, bruciatori, ecc);*
- *energia termica derivante da apporti gratuiti come l'irraggiamento solare;*
- *energia termica derivante da sorgenti interne.*

Pertanto, l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto verrà valutata non più **solo in relazione all'isolamento termico dell'edificio**, ma **anche in relazione ad altri importanti aspetti** quali: **rendimento del generatore di calore, della rete di distribuzione e dei terminali di utilizzazione dell'energia termica ed all'utilizzo di apporti gratuiti**.

Più in particolare gli edifici vengono classificati in differenti categorie in base alla loro destinazione d'uso come precisato nella seguente tabella.

<p><i>E. 1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili:</i> E. 1 (1) abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme; E. 1 (2) abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili; E. 1 (3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari;</p> <p><i>E. 2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili:</i> pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorporabili agli effetti dell'isolamento termico;</p> <p><i>E. 3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili</i> ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-dipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici;</p>	<p><i>E. 4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili:</i> E. 4 (1) quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi; E. 4 (2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto; E. 4 (3) quali bar, ristoranti, sale da ballo;</p> <p><i>E. 5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili:</i> quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni;</p> <p><i>E. 6 Edifici adibiti ad attività sportive:</i> E. 6 (1) piscine, saune e assimilabili; E. 6 (2) palestre e assimilabili; E. 6 (3) servizi di supporto alle attività sportive;</p> <p><i>E. 7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;</i></p> <p><i>E. 8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili.</i></p>
---	---

I valori massimi della temperatura ambiente nel periodo di funzionamento dell'impianto di climatizzazione invernale sono posti pari a 18 [°C] per gli edifici di categoria E.8 e a 20 [°C] per tutte le altre categorie; su entrambi i valori è ammessa una tolleranza di +1 [°C]. Deroche particolari possono essere concesse dalle autorità comunali per le categorie E.3 (ospedali) e E.6 (piscine).

Le industrie (cat. E.8) possono ottenere deroghe, purché giustificate da esigenze tecnologiche, ovvero nei casi in cui vengano utilizzate per il riscaldamento sorgenti energetiche non convenientemente utilizzabili in altro modo (ad esempio segatura nelle industrie manifatturiere del legno).

Per quanto attiene alla **regolazione**, negli impianti termici centralizzati adibiti al riscaldamento per una pluralità di utenze aventi potenza nominale del generatore superiore a 35 [kW] è prescritta l'adozione di un termoregolazione asservita ad un sensore (sonda) di temperatura esterna; inoltre, negli **impianti nuovi**, deve essere possibile la **contabilizzazione del calore** per ogni unità immobiliare.

Il territorio nazionale è suddiviso nelle seguenti sei fasce climatiche in funzione dei gradi giorno associandone il periodo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento nonché il numero di ore giornaliere.

ZONA CLIM.	GRADI GIORNO	ORE DI FUNZ.	PERIODO DI FUNZ.
A	Fino a 600	6	dal 1/12 al 15/3
B	601 – 900	8	dal 1/12 al 31/3
C	901 – 1400	10	dal 15/11 al 31/3
D	1401 – 2100	12	dal 1/11 al 15/4
E	2101- 3000	14	dal 15/10 al 15/4
F	Oltre 3000	nessuna limitazione	

I valori limite del **FEP** (consumi di energia primaria per metro quadrato di superficie calpestabile espressi in [kWh/(m² anno)]) di un nuovo edificio, o nel caso di ristrutturazioni di notevole entità di vecchi edifici da rispettare sono riportati nella successiva tabella in funzione del coefficiente di forma dell'edificio **S/V** e del numero di gradi-giorno **GG**. Si precisa che:

- **S [m²]** = superficie che delimita verso l'esterno il volume riscaldato **V**;
- **V [m³]** = volume lordo riscaldato definito dalle superfici che lo delimitano.

S/V	ZONA CLIMATICA										
	A		B		C		D		E		F
	GG		GG		GG		GG		GG		GG
	< 600	601	900	901	1400	1401	2100	2101	3000	> 3000	
≤ 0.2	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55	
≥ 0.9	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145	

I valori indicati nella tabella devono essere interpolati linearmente per valori dei gradi-giorno compresi tra gli estremi assegnati. Per **GG < 600** e **GG > 3000** i valori del **FEP** rimangono costanti, come pure rimangono costanti quando il coefficiente di forma dell'edificio **S/V < 0.2** oppure **S/V > 0.9**.

Ad esempio, nel progettare un nuovo edificio da costruirsi in Genova con un rapporto **S/V = 0.55**, ove **S** sia la superficie che delimita verso l'esterno il volume riscaldato **V**, si dovrà rispettare nel progetto il limite massimo di consumo previsto pari a **FEP ≤ 56** [kWh/(m² anno)].

In alternativa può essere sufficiente rispettare le seguenti condizioni :

- nel caso di un generatore di calore di potenzialità nominale **P_n = φ_{foe}** [kW] dovrà

raggiungersi un rendimento globale medio stagionale dell'intero impianto superiore a:

$$\eta \% = 75 + 3 \cdot \log P_n$$

- i valori limite di trasmittanza per le pareti opache e trasparenti riportati dal D.L. 19.08.2005 nelle sottostanti tabelle.

Trasmittanza termica delle strutture verticali opache

Zona climatica	K [W/m ² K] dal 1/1/2006	K [W/m ² K] dal 1/12009
A	0.85	0.72
B	0.64	0.54
C	0.57	0.46
D	0.50	0.40
E	0.46	0.37
F	0.44	0.35

Trasmittanza termica delle strutture orizzontali opache

Zona climatica	K [W/m ² K] dal 1/1/2006	U [W/m ² K] d al 1/1/2009
A	0.80	0.68
B	0.60	0.51
C	0.55	0.44
D	0.46	0.37
E	0.45	0.54
F	0.44	0.33

Trasmittanza termica dei vetri

Zona climatica	K [W/m ² K] dal 1/1/2006	K [W/m ² K] dal 1/1/2009
A	5.0	5.0
B	4.0	4.0
C	3.0	2.3
D	2.6	2.1
E	2.4	1.9
F	2.3	1.6

L'attuale quadro normativo prevede inoltre l'obbligo di introdurre la **certificazione energetica degli edifici**, basata non solo sul controllo della relazione del progettista, ma anche sulla rispondenza, in cantiere, dei materiali previsti, addivenendo così ad una classificazione degli edifici in base al loro consumo di energia.

In un prossimo futuro, come già anticipato nel Capitolo 1, anche gli edifici esistenti dovranno essere accompagnati da un certificato energetico del tipo sotto raffigurato al fine di fotografarne lo "stato energetico attuale" e suggerire quali possano essere i possibili interventi di riqualificazione.

CERTIFICATO ENERGETICO rilasciato il scade il

n.

INFORMAZIONI GENERALI

• Ubicazione:

Via

Comune GENOVA

Zona Climatica:



• Proprietario:

• Tipologia edilizia:

• Anno di costruzione:

• Superficie calpestabile: 1282 m²

• Volume lordo: 4965 m³

• S/V: 0,392

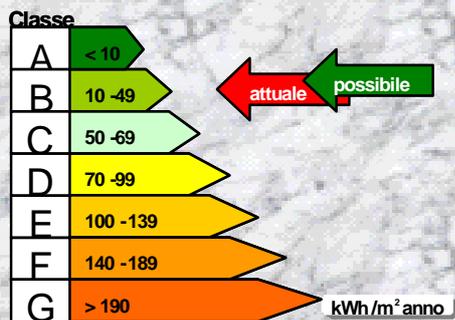
2

3

Fabbisogno Energetico

Confronto tra la classe energetica attuale dell'edificio e quella conseguibile con la realizzazione di interventi migliorativi su involucro e impianto termico.

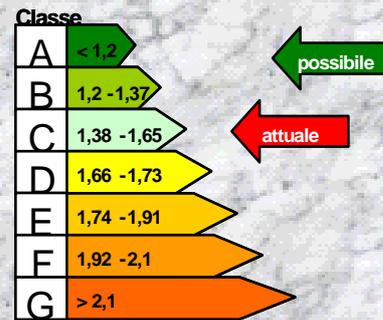
Dispersioni Edificio



Classe Attuale: B

Classe massima raggiungibile con interventi migliorativi: B

Efficienza Impianto

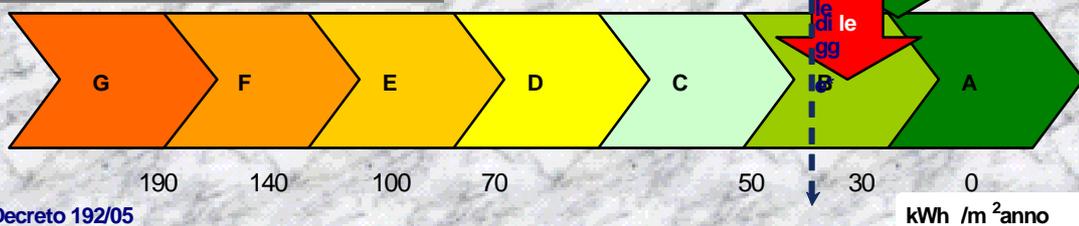


Classe Attuale: C

Classe massima raggiungibile con interventi migliorativi: A

Fabbisogno Totale Energia Primaria

Fabbisogno Attuale Energia Primaria:
41,53 kWh /m²anno
Fabbisogno raggiungibile con interventi migliorativi:
30,00 kWh /m²anno



* Decreto 192/05

9.4 Cenni sull'isolamento termico dell'involucro edilizio

Il vincolo della già citata normativa sulla coibentazione degli edifici deve essere visto in primo luogo in base a un'analisi economica; infatti l'isolamento termico comporta da un lato un maggiore onere nella costruzione o nella ristrutturazione dell'edificio, e dall'altro un minor consumo di combustibile; quindi, a fronte di un maggiore investimento iniziale, si viene a determinare un minor costo di esercizio (minori consumi). Occorre inoltre tenere presente anche il costo sociale dell'inquinamento ambientale derivante dai consumi energetici.

Nel seguito si analizzeranno alcune soluzioni di isolamento termico. Si precisa che l'attuale normativa al fine di *evitare danneggiamento e degrado dell'involucro edilizio termicamente isolato* prevede espressamente anche la **verifica igrometrica delle pareti perimetrali**. Di questo argomento si parlerà in seguito.

9.4.1 Isolamento a cappotto

L'isolamento termico dei fabbricati dall'esterno, comunemente chiamato a cappotto, sia su edifici nuovi che esistenti, ha avuto le sue prime applicazioni circa venti anni or sono e si è dimostrato un sistema tra i più indovinati e ha preso sempre più piede, tanto da essere oggi ampiamente adottato.



Questo sistema è caratterizzato da un rivestimento isolante situato sulla parte esterna delle pareti d'ambito dell'edificio, così da avvolgerlo completamente. Ciò permette di correggere i ponti termici e di ridurre i dannosi effetti indotti nelle strutture e nei parametri murari dalle variazioni rapide o notevoli della temperatura esterna, migliora il comportamento igrometrico delle pareti (vedi dopo) e aumenta il comfort abitativo.

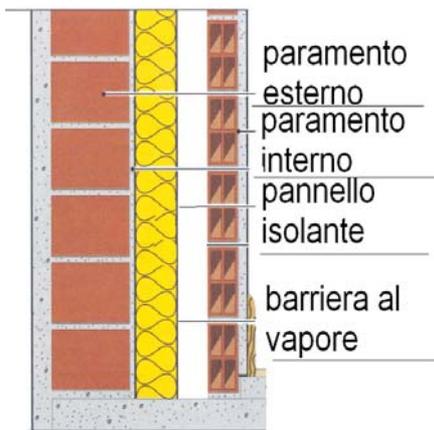
Il sistema permette di sfruttare l'inerzia termica delle murature e, comportando un intervento dall'esterno, consente di evitare disagi agli occupanti delle abitazioni.

La tecnica di installazione consiste essenzialmente nella preparazione preventiva delle superfici esterne dei manufatti e nell'applicazione su tali superfici, mediante incollaggio, di pannelli isolanti di varia natura, consistenza e spessore.

Si procede, quindi, ad una rifinitura con intonaco rasante a due strati con interposta rete in fibra di vetro, di vario tipo, e infine a un trattamento superficiale di finitura in vari colori. L'aspetto finale di questa opera deve essere quello di un comune muro di facciata. L'isolamento a cappotto è realizzato anche per resistere ad urti di una certa intensità.

9.4.2 Isolamento in intercapedine

L'applicazione del materiale isolante per insufflazione o iniezione può essere eseguita dall'esterno con l'impiego di apposite macchine insufflatrici. Durante l'operazione di coibentazione si deve verificare che il riempimento ottenuto sia sufficientemente continuo e omogeneo.



I materiali isolanti da applicare devono avere caratteristiche di imputrescibilità, stabilità chimica e fisica, non igroscopicità, stabilità dimensionale e inoltre non devono emettere odori. I materiali isolanti sfusi devono essere caratterizzati da un basso valore del fattore d'attrito per consentire un perfetto riempimento delle intercapedini; tra i più usati: vermiculite, perlite, polistirene espanso, pomice, argilla espansa, sughero, fibre di cellulosa.

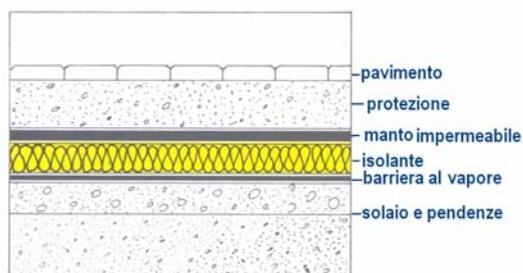
Le resine espanse utilizzate sono le ureiche e le poliuretatiche.

Per permettere l'esecuzione dell'isolamento per insufflazione lo spessore dell'intercapedine non deve essere inferiore a 5 cm: per quello mediante iniezione lo spessore minimo scende a 3 - 4 cm.

La coibentazione delle intercapedini può anche essere effettuata mediante pannelli isolanti i quali vengono interposti tra la controparte esterna ed interna. E' ovvio che in tale caso la parete dovrà essere di nuova costruzione come illustrato in figura.

9.4.3 Isolamento di copertura piana con isolante esterno

Nel caso di coperture praticabili, e cioè quelle coperture che sono pedonabili a tutti gli

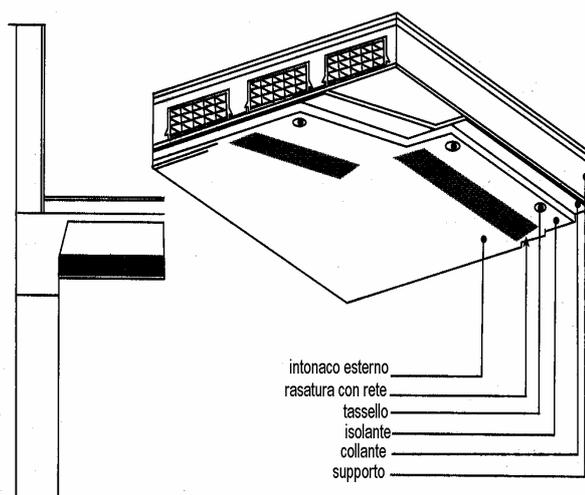


effetti, lo strato di isolante (di tipo concentrato) viene posto direttamente sopra il solaio e protetto sulla parte superiore da uno strato di malta su cui è posata la pavimentazione, come illustrato in figura.

9.4.4 Isolamento di solai su porticati

L'isolamento deve essere caratterizzato da elevata durata e resistenza agli urti accidentali, idoneo comportamento al fuoco, semplicità di posa in opera, buona aderenza dei materiali isolanti al supporto.

L'applicazione dell'isolante richiede la preventiva preparazione del supporto, in modo da ottenere una superficie compatta e complanare.



Solitamente l'isolante viene posto all'intradosso del solaio, collocando dello strato isolante in corrispondenza alla faccia inferiore della prima soletta del fabbricato al di sopra del porticato. Questo tipo di isolamento consente la correzione dei ponti termici e può essere eseguito su qualsiasi superficie,

previa idonea preparazione.

Da quanto sopra esposto si può notare come sia di primaria importanza disporre di dati certi di conducibilità termica dei materiali, per valutare correttamente la trasmittanza termica della parete. In genere le prestazioni termiche di un isolante in opera si discostano in modo significativo dalle analoghe prestazioni misurate in laboratorio; mentre queste ultime sono determinate in condizioni di riferimento, le prime sono condizionate dalle reali situazioni di posa in opera e di esercizio (contenuto di umidità, invecchiamento, etc.).

Per tenere conto di quanto detto, le norme **UNI** definiscono i seguenti parametri:

1. conduttività di riferimento (λ_m): valore della conduttività misurata in laboratorio;
2. maggiorazione percentuale (m) che tiene conto del contenuto percentuale di umidità, dell'invecchiamento, del costipamento dei materiali sfusi, della manipolazione e installazione a regola d'arte, delle tolleranze sullo spessore;
3. conduttività utile di calcolo (λ), dedotta applicando la maggiorazione percentuale (m) alla conduttività indicativa di riferimento (λ_m).

La norma UNI 10351 "Materiali da costruzione: conduttività termica e permeabilità al vapore" riporta i valori che interessano la progettazione termica di un edificio.

La seguente tabella, estratta dalla suddetta norma, riporta, nelle diverse colonne:

- il materiale in considerazione;
- la massa volumica (densità ρ) del materiale secco, espressa in $[\text{kg}/\text{m}^3]$;
- la conduttività indicativa di riferimento (λ_m), espressa in $[\text{W}/\text{mK}]$;
- la maggiorazione percentuale (m);
- la conduttività utile di calcolo (λ), espressa in $[\text{W}/\text{mK}]$.

Materiale	ρ (kg/m^3)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
Calcestruzzo				
a) a struttura chiusa²⁾:				
— calcestruzzo confezionato con aggregati naturali (valori di calcolo per pareti esterne e interne protette; per pareti esterne non protette assumere $m = 25\%$) ³⁾	2 000	1,01	} 15	1,16
	2 200	1,29		1,48
	2 400	1,66		1,91
— calcestruzzo di argille espanse (conduttività di riferimento relativa a materiale secco); valori di calcolo per pareti interne o protette con umidità del 4%; per pareti esterne con umidità 6% assumere $m = 30\%$; per pareti di scantinati con 8% di umidità assumere $m = 45\%$; per sottofondi non aerati assumere $m = 100\%$) ³⁾	1 000	0,25	} 20	0,31
	1 100	0,29		0,35
	1 200	0,33		0,39
	1 300	0,37		0,44
	1 400	0,42		0,50
	1 500	0,47		0,57
	1 600	0,54		0,65
	1 700	0,63	0,75	
b) a struttura aperta²⁾:				
— calcestruzzo di argille espanse (conduttività di riferimento relativa a materiale secco); valori di calcolo per pareti interne o protette con umidità del 4%; per pareti esterne con umidità 6% assumere $m = 30\%$; per pareti di scantinati con 8% di umidità assumere $m = 45\%$; per sottofondi non aerati assumere $m = 100\%$) ³⁾	500	0,14	} 20	0,16
	600	0,16		0,18
	700	0,18		0,21
	800	0,20		0,24
	900	0,22		0,27
	1 000	0,25		0,31
— calcestruzzo cellulare da autoclave (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette con umidità dal 4 al 5%; per pareti esterne con umidità dal 6 al 7% assumere $m = 40\%$; per pareti di scantinati con umidità dall'8 al 10% assumere $m > 50\%$) ³⁾ (per calcestruzzi espansi in situ maggiorare i dati dei calcestruzzi da autoclave del 10%)	400	0,12	} 25	0,15
	500	0,14		0,17
	600	0,15		0,19
	700	0,17		0,22
	800	0,20	0,25	
— calcestruzzo di inerti espansi di origine vulcanica (valori orientativi di calcolo per pareti interne o esterne protette)	1 000			0,38
	1 200			0,47
	1 400			0,58

ESERCIZI ED ESEMPI

1) La trasmittanza termica della parete perimetrale calcolata nel Capitolo 4 è $K = 1.80$ [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]. Si ipotizza l'impiego di questa parete in un edificio da costruirsi in zona climatica C.

Si ipotizza di isolare termicamente la parete con iniezione nell'intercapedine (spessore 5 cm) di una resina poliuretana con conduttività utile di calcolo $\lambda = 0.045$ [$\text{W}/\text{m K}$]. Si valuti se tale ipotesi sia adeguata a quanto previsto dal D.L. 19 agosto 2005, n. 192.

La resistenza specifica della parete nel Capitolo 4 è:

$$R'_t = \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_i \frac{l_{ni}}{\lambda_{ni}} + R'_{in} + \frac{1}{\alpha_e} = 0.55 \left[\frac{(\text{m}^2 \text{K})}{\text{W}} \right]$$

con resistenza specifica dell'intercapedine d'aria:

$$R'_{in} = 0.15 \text{ [(m}^2 \text{ K)/W]}$$

La resistenza termica dopo l'intervento e la corrispondente trasmittanza saranno:

$$R_{tr} = R'_t - R'_{in} + \frac{L}{\lambda_p} = 0.55 - 0.15 + \frac{0.05}{0.045} = 1.51 \text{ [(m}^2 \text{ K)/W]}$$

$$K_{tr} = \frac{1}{R_{tr}} = \frac{1}{1.51} = 0.66 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$$

La trasmittanza ottenuto è più alta del limite previsto per la zona climatica C ($K^* = 0.57$ [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]) dal D.L. 19 agosto 2005, n. 192.

L'intervento ipotizzato potrebbe essere adottato in zona A, più temperata, ove infatti risulta $K^* = 0.85$ [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$] e $R^* = 1.17$ [($\text{m}^2 \text{ K)/W}$].

2) Un edificio, caratterizzato da un rapporto di forma $S/V = 0.39$, deve essere realizzato a **Milano** (zona climatica **E**; $GG = 2404$). Si valuti il **FEP** dell'edificio previsto dal D.L. 19 agosto 2005, n. 192.

Il **FEP** si calcola mediante doppia interpolazione sulla base della tabella seguente in funzione dei gradi-giorno GG e del fattore di forma S/V .

S/V	ZONA CLIMATICA									
	A	B		C		D		E		F
	GG	GG		GG		GG		GG		GG
	< 600	601	900	901	1400	1401	2100	2101	3000	> 3000
≤ 0.2	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55
≥ 0.9	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145

Interpolando la prima volta sui gradi-giorno (zona climatica **E**) si hanno per Milano ($GG = 2404$) i seguenti valori limiti:

$$S/V = 0.2 \Rightarrow FEP = 40 + (55 - 40) \cdot \frac{2404 - 2101}{3000 - 2101} = 45.1 \text{ [kWh/(m}^2\text{ anno)]}$$

$$S/V = 0.9 \Rightarrow FEP = 110 + (145 - 110) \cdot \frac{2404 - 2101}{3000 - 2101} = 121.8 \text{ [kWh/(m}^2\text{ anno)]}$$

Il **FEP** dell'edificio previsto dal D.L. 19 agosto 2005, n. 192 si ottiene interpolando relativamente al valore $S/V = 0.39$:

$$FEP = 45.1 + (121.8 - 45.1) \cdot \frac{0.39 - 0.2}{0.9 - 0.2} = 65.9 \text{ [kWh/(m}^2\text{ anno)]}$$

1) Un edificio a **Roma** (Zona climatica: **D**; $GG = 1415$; escursione termica massima ($t_a - t_e$) = 20 [°C]) ha una totale superficie disperdente $S = 2100$ [m²] ed un volume riscaldato $V = 5400$ [m³]. La superficie calpestabile è $A = 1350$ [m²]. Si stima che durante la stagione invernale si possa contare su un apporto energetico gratuito da fonte solare pari a $Q_a = 35000$ [MJ] e che il rendimento globale medio dell'impianto sia $\eta = 80$ %. Si valuti il fabbisogno annuo di energia primaria per il riscaldamento e il **FEP** dell'edificio. Si supponga di aver calcolato i seguenti contributi:

$$\varphi_d = 22500 \text{ [W]}$$

$$\varphi_v = 18900 \text{ [W]}$$

I coefficienti volumici di dispersione termica C_d e C_v sono rispettivamente :

$$C_d = \frac{\varphi_d}{V \cdot (t_a - t_e)} = \frac{22500}{5400 \cdot 20} = 0.21 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}} \right]$$

$$C_v = \frac{\varphi_v}{V \cdot (t_a - t_e)} = \frac{18900}{5400 \cdot 20} = 0.18 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}} \right]$$

La totale energia dispersa dall'edificio nei N giorni di riscaldamento invernale è :

$$Q = \sum_{j=1}^{j=N} Q_j = (C_d + C_v) \cdot V \cdot 86400 \cdot \sum_{j=1}^{j=N} (t_a - t_{e_j}) = (C_d + C_v) \cdot V \cdot 86400 \cdot GG$$

$$Q = (0.21 + 0.18) \cdot 5400 \cdot 86400 \cdot 1415 = 257470 \text{ [MJ / anno]}$$

L'energia utile, che l'impianto deve fornire nello stesso periodo, è:

$$Q_i = Q - Q_a = 257470 - 35000 = 222470 \text{ [MJ / anno]}$$

La totale energia primaria consumata è:

$$Q_p = Q_i \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{222470}{0.8} = 278087 \text{ [MJ / anno]} = 77246 \text{ [kWh / anno]}$$

Il **FEP** dell'edificio risulta:

$$\text{FEP} = \frac{Q_p}{A} = \frac{77246}{1350} = 57.2 \text{ [kWh/(m}^2\text{anno)]}$$

Il rapporto di forma dell'edificio è:

$$S/V = 2100/5400 = 0.39 \text{ [1/m]}$$

Interpolando sui gradi-giorno (zona **D**) si ha per Roma ($GG = 1415$):

$$S/V = 0.2 \Rightarrow \text{FEP} = 25 + (40 - 25) \cdot \frac{1415 - 1401}{2100 - 1401} = 25.3 \text{ [kWh/(m}^2\text{anno)]}$$

$$S/V = 0.9 \Rightarrow \text{FEP} = 85 + (110 - 85) \cdot \frac{1415 - 1401}{2100 - 1401} = 85.5 \text{ [kWh/(m}^2\text{anno)]}$$

Il **FEP** dell'edificio previsto dal D.L. 19 agosto 2005, n. 192 si ottiene interpolando i valori ottenuti rispetto a $S/V = 0.39$:

$$\text{FEP} = 25.3 + (85.5 - 25.3) \cdot \frac{0.39 - 0.2}{0.9 - 0.2} = 41.6 \text{ [kWh/(m}^2\text{anno)]}$$

Come si può osservare il **FEP** limite previsto dal D.L. 19 agosto 2005, n. 192 non è rispettato dal FEP dell'edificio per cui il progetto del sistema edificio-impianto dovrà essere modificato fino a verifica positiva. Ad esempio, il progettista potrà:

- incrementare l'isolamento termico dell'edificio (ridurre il C_d e cioè ridurre l'energia utile Q_i richiesta all'impianto);
- aumentare il rendimento globale η dell'impianto (caldaia, rete, regolazione, terminali utilizzatori);
- intervenire sul termine Q_a e cioè prevedere modifiche al progetto che consentano di contabilizzare maggiori apporti gratuiti, ad esempio da fonte solare.