

LA VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Valutazione del rischio di formazione di muffe sulla superficie interna dell'involucro edilizio con esempio applicativo

a cura di Vincenzo Lattanzi

Tratto da

Manuale del Progettista e del Certificatore energetico



Prontuario tecnico

LA VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Valutazione del rischio di formazione di muffe sulla superficie interna
dell'involucro edilizio con esempio applicativo

a cura di Vincenzo Lattanzi

15

LA VERIFICA TERMOIGROMETRICA

15.1. MODALITÀ PER CONDURRE LA VERIFICA

La verifica termoigrometrica rappresenta la valutazione del rischio di formazione di muffe sulla superficie interna dell'involucro, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione e di condensazione del vapore acqueo all'interno dei componenti stessi (cosiddetta “*condensazione interstiziale*”).

Una delle novità del D. Leg.vo 192/2005, confermata dal D.M. 26 giugno 2015 “*Requisiti minimi*”, è quella di aver reso obbligatoria la verifica termoigrometrica delle strutture opache verticali, orizzontali ed inclinate. Si riporta in merito il comma 2 del punto 2.3 del D.M. 26 giugno 2015.

D.M. 26 giugno 2015

Allegato 1, punto 2.3, comma 2

Nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788), alla verifica dell'assenza:

- di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;
- di condensazioni interstiziali.

Le condizioni interne di utilizzazione sono quelle previste nell'appendice alla norma sopra citata, secondo il metodo delle classi di concentrazione. Le medesime verifiche possono essere effettuate con riferimento a condizioni diverse, qualora esista un sistema di controllo dell'umidità interna e se ne tenga conto nella determinazione dei fabbisogni di energia primaria per riscaldamento e raffrescamento.

La norma di riferimento è pertanto la **UNI EN ISO 13788:2013** “*Prestazioni igrotermiche dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo*”.

Il D.M. 26 giugno 2015 rende obbligatoria la verifica termoigrometrica nei seguenti casi.

Tabella 76 - Obbligatorietà della verifica termoigrometrica ai sensi del D.M. 26 giugno 2015

<i>Tipologia di interventi</i>	<i>Obbligo verifica termoigrometrica</i>	<i>Obbligo per categoria edificio</i>
Nuove costruzioni	Si	Tutte
Demolizioni e ricostruzioni	Si	Tutte
Ampliamenti di edifici esistenti	Si, ma alla sola porzione dell'ampliamento	Tutte
Ristrutturazioni importanti di primo livello	Si	Tutte
Ristrutturazioni importanti di secondo livello	Si, ma solo agli elementi oggetto di intervento	Tutte
Riqualificazioni energetiche	Si, ma solo agli elementi oggetto di intervento	Tutte
Nuova installazione di impianti termici in edifici esistenti o riqualificazione degli stessi impianti Sostituzione di generatori di calore	No	-

La verifica termoigrometrica influenza la prestazione energetica degli edifici, infatti la presenza di umidità all'interno dei materiali costituenti una struttura edilizia provoca l'aumento della trasmittanza termica della struttura e quindi un incremento dell'energia dispersa attraverso i componenti opachi, e quindi di conseguenza si ha un incremento dei consumi energetici per la climatizzazione invernale. Pertanto da parte del progettista va posta la massima attenzione nella progettazione delle strutture per gli edifici di nuova costruzione e nella ristrutturazione e riqualificazione di strutture esistenti.

Il metodo di calcolo definito dalla norma UNI EN ISO 13788:2013

La norma definisce una metodologia semplificata per prevenire il rischio di condensazione superficiale o di condizioni idonee allo sviluppo di muffe e/o corrosione, e per valutare il rischio di condensazione interstiziale dovuto alla diffusione del vapore acqueo attraverso i componenti edilizi.

La norma prescrive il calcolo del fattore di temperatura f_{Rsi} quale parametro indicante la "qualità termica" dell'edificio. Tale parametro è dato dalla differenza di temperatura tra la superficie interna del componente o struttura edilizia θ_{si} (calcolata con la

resistenza superficiale interna R_{si}) e l'aria esterna θ_e , diviso la differenza tra la temperatura dell'aria interna θ_i e dell'aria esterna θ_e :

$$f_{R_{si}} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = 1 - R_{si}U \quad (1)$$

dove:

θ_i è la temperatura dell'aria interna [°C];

θ_e è la temperatura dell'aria esterna [°C];

U è la trasmittanza termica della parete [W/m²K];

R_{si} è la resistenza superficiale interna [m²K/W].

Tale parametro, che esprime la prestazione termica del componente edilizio opaco, è un **valore compreso tra 0 ed 1**. Il fattore di temperatura $f_{R_{si}}$ dipende dalla forma e dalle dimensioni geometriche del componente, dai parametri termofisici e geometrici dei materiali costituenti il componente, nonché dai coefficienti liminari di scambio termico. I valori più bassi di $f_{R_{si}}$ si riscontrano in presenza di disuniformità geometriche o costruttive (es. ponti termici).

La verifica va effettuata seguendo la seguente procedura descritta dalla UNI EN ISO 13788:

- a. dalla UNI 10349 si ricavano i **valori medi mensili** di temperatura e pressione parziale di vapore d'acqua per l'aria esterna (θ_e , p_e);
- b. la temperatura interna viene fissata in 20 °C nel periodo di climatizzazione invernale, mentre la pressione parziale di vapore dell'aria interna (p_i), normalmente, va calcolata come $p_i = p_e + \Delta p$, con Δp funzione della classe di produzione di vapore nell'ambiente considerato (prospetto NA1 a pag. 39 della norma UNI EN ISO 13788);
- c. si determina il valore massimo accettabile di umidità relativa interna ϕ_s in corrispondenza delle superfici (valori UNI EN ISO 13788), inclusi i ponti termici:
 - $\phi_s = 100\%$ per evitare la possibilità di condensazione in corrispondenza di strutture a bassa inerzia termica, ad esempio dei serramenti;
 - $\phi_s = 80\%$ per evitare il rischio di crescita muffe;
 - $\phi_s = 60\%$ per evitare fenomeni di corrosione;
- d. con il valore massimo accettabile di umidità relativa interna in corrispondenza delle superfici (ϕ_s), si calcola il valore minimo accettabile della pressione di saturazione $P_{sat}(\theta_{si,min})$, adottando la formula che segue:

$$P_{sat}(\theta_{si,min}) = \frac{P_i}{\phi_s} \cdot 100 \quad (2)$$

- e. a partire dalla pressione di saturazione $P_{sat}(\theta_{si,min})$ si calcola la temperatura superficiale minima accettabile $\theta_{si,min}$ con le seguenti relazioni che legano

temperatura e pressione di saturazione (cfr. appendice E della UNI EN ISO 13788, pag. 36):

$$\theta_{si,\min} = \frac{237,3 \cdot \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)} \quad \text{per } p_{sat} \geq 610,5 \text{ Pa} \quad (3)$$

$$\theta_{si,\min} = \frac{265,5 \cdot \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)}{21,875 - \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)} \quad \text{per } p_{sat} < 610,5 \text{ Pa} \quad (4)$$

- f. dopo aver fissato le temperature dell'aria interna θ_i e dell'aria esterna θ_e , si calcola il fattore di temperatura minimo, pari a:

$$f_{Rsi,\min} = \frac{\theta_{si,\min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (5)$$

- g. il mese con più alto valore di $f_{Rsi,\min}$ è il **mese critico**; tale valore è chiamato nella norma come $f_{Rsi,\max}$;
 h. si calcola quindi il valore effettivo in esercizio del fattore di temperatura, funzione unicamente della stratigrafia della struttura, con la seguente relazione:

$$f_{Rsi} = 1 - R_{si}U \quad (6)$$

dove:

U è la trasmittanza termica della struttura in $\text{W/m}^2\text{K}$;

R_{si} è la resistenza superficiale interna (UNI EN ISO 13788, punto 4.4);

Esito della verifica

La verifica è **POSITIVA** se $f_{Rsi,\max} \leq f_{Rsi} = 1 - R_{si}U$ (assenza di condensa superficiale), ovvero quando:

$$U < \frac{1 - f_{Rsi,\limite}}{R_{si}} \quad (7)$$

Viceversa, la verifica è **NEGATIVA** se $f_{Rsi,\max} > f_{Rsi}$ (sulla superficie interna l'umidità relativa dell'aria raggiunge il valore critico).

Un insufficiente isolamento termico (elevati valori di U), ed elevate quantità di vapore non compensate da frequenti ricambi d'aria ($f_{Rsi,\limite} \rightarrow 1$), rendono difficile evitare il raggiungimento delle condizioni critiche sulla superficie interna.

Nel caso di elementi piani (verticali ed orizzontali), poiché la UNI EN 13788 fissa $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$, la condizione di progetto diventa:

$$U < \frac{1 - f_{R_{si}, \text{limite}}}{R_{si}} = 4(1 - f_{R_{si}, \text{limite}}) \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (8)$$

dove:

U è la trasmittanza termica totale dell'elemento piano $[\text{W/m}^2\text{K}]$;

R_{si} è la resistenza termica superficiale interna, pari a $0,25 \text{ [m}^2\text{K/W]}$ come da norma.

La condensazione interstiziale

La condensazione interstiziale si presenta quando la pressione di vapore p all'interno di un componente edilizio raggiunge il valore della pressione di saturazione p_{sat} . **Affinché non si presenti il fenomeno della condensazione interstiziale è necessario che sia $p_{sat} > p$.** Per verificare questa disuguaglianza la norma fornisce un metodo per calcolare il bilancio di vapore annuale e la massima quantità di vapore accumulata dovuta alla condensa interstiziale.

Il metodo assume che la struttura sia asciutta all'inizio dei calcoli. Inoltre il metodo permette di confrontare soluzioni costruttive diverse e di verificare gli effetti delle modifiche apportate alla struttura. Tale metodo non è adatto per il calcolo dell'evaporazione dell'umidità da costruzione. **Si riporta di seguito la procedura.**

- a. Si definisce la stratigrafia del componente edilizio: ogni strato è costituito da un materiale omogeneo ed è delimitato da due piani trasversali rispetto la direzione del flusso di calore/vapore.
- b. Per ogni materiale si definiscono le proprietà termoigrometriche.
- c. Si suddivide ogni strato in una serie di strati più piccoli in modo che nessuno di essi abbia una resistenza termica superiore a $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$.
- d. Si definiscono le condizioni al contorno di calcolo ed in particolare:
 - temperatura dell'aria interna ed esterna;
 - umidità relativa interna ed esterna.

Valutazione dell'andamento della pressione di saturazione p_{sat}

- e. Si calcola il profilo di temperatura attraverso la sezione trasversale del componente edilizio con il seguente procedimento, partendo dallo **strato esterno**:

$$\theta_n = \theta_e + \frac{R'_n}{R'_T} (\theta_i - \theta_e) \quad (9)$$

dove:

θ_n è la temperatura all'interfaccia n -esima $[\text{°C}]$;

θ_e è la temperatura dell'ambiente esterno $[\text{°C}]$;

θ_i è la temperatura ambiente interno $[\text{°C}]$;

R'_n è la resistenza termica cumulata tra l'esterno e ciascuna interfaccia n , pari a:

$$R_{se} + \sum_{j=1}^n R_j \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (10)$$

dove:

R_t è la resistenza termica totale [$\text{m}^2\text{K/W}$]

- f. Si calcola l'andamento della pressione di saturazione, in corrispondenza di ogni interfaccia, mediante le formule sottostanti che esprimono il legame tra pressione di saturazione e temperatura:

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269\theta}{237,3+\theta}} \quad \text{per } \theta \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (11)$$

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875\theta}{265,5+\theta}} \quad \text{per } \theta < 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (12)$$

Valutazione dell'andamento della pressione di vapore p

- g. Si calcola la distribuzione della pressione parziale di vapore attraverso la struttura secondo la seguente formula:

$$p_n = p_e - \frac{S'_{d,n}}{S'_{d,T}} (p_i - p_e) \quad (13)$$

dove:

P_n è la pressione di vapore all'interfaccia n -esima [Pa];

P_e è la pressione di vapore dell'ambiente esterno [Pa];

P_i è la pressione di vapore dell'ambiente interno [Pa];

$S'_{d,n} = \sum_{j=1}^n S_{d,j}$ è lo spessore equivalente di aria per la diffusione del vapore cumulato tra l'esterno e l'interfaccia n , [m];

$S'_{D,t}$ è lo spessore equivalente di aria per la diffusione del vapore totale della struttura, [m].

Il problema viene risolto graficamente attraverso il diagramma di Glaser; l'analisi degli andamenti delle pressioni in funzione della stratigrafia del componente edilizio permette di individuare gli strati dove la condizione $p_{sat} > p$ non è verificata.

Scelte progettuali da adottare per evitare la condensazione interstiziale

Il rischio di condensazione interstiziale è maggiore in corrispondenza degli strati che seguono il materiale isolante (nel verso del flusso di vapore), perché i valori di pressione tendono a convergere per effetto delle notevoli differenze tra i gradienti di variazione ($\Delta p_{sat} \rightarrow \Delta p$).

Scegliendo materiali da costruzione con opportune caratteristiche termofisiche, e prevedendo un'adeguata sequenza degli strati che compongono la parete, è possibile ridurre il rischio di condensazione interstiziale.

In termini di resistenza termica e di resistenza alla diffusione del vapore, la corretta sequenza degli strati si traduce in:

- resistenza termica R crescente dall'ambiente interno verso l'ambiente esterno ($A_{p_{sat}} \uparrow$);
- resistenza di diffusione al vapore Z_p decrescente dall'ambiente interno verso l'ambiente esterno (\downarrow).

Per evitare la condensazione interstiziale **si dovrebbero posizionare sul lato esterno gli strati a maggior resistenza termica e sul lato interno quelli a maggior resistenza alla diffusione del vapore.**

Nella pratica costruttiva, limitazioni di carattere tecnico-economico portano alla realizzazione di strutture edilizie con stratigrafie che non corrispondono alla sequenza ottimale; va sottolineato però che **la presenza di condensazione interstiziale non pregiudica necessariamente la struttura.** Qualora la struttura non risultasse idonea, sarebbe allora necessario apportare delle modifiche; si può ricorrere all'inserimento di una barriera al vapore, ovvero uno strato di piccolo spessore (frazioni di mm) ad alta resistenza alla diffusione del vapore e con resistenza termica trascurabile, prima dello strato isolante (nel verso del flusso di vapore). Ciò crea una forte riduzione della p , senza alterare l'andamento della p_{sat} .

L'inserimento di una barriera al vapore deve essere però valutato sempre molto attentamente. La riduzione della capacità traspirante della struttura può portare ad una riduzione dell'asciugatura estiva e all'impossibilità di smaltire l'umidità di costruzione nelle strutture con impermeabilizzazione sul lato esterno rispetto all'isolante. In questo caso, in particolar modo nelle coperture, la norma UNI EN 13788 consiglia:

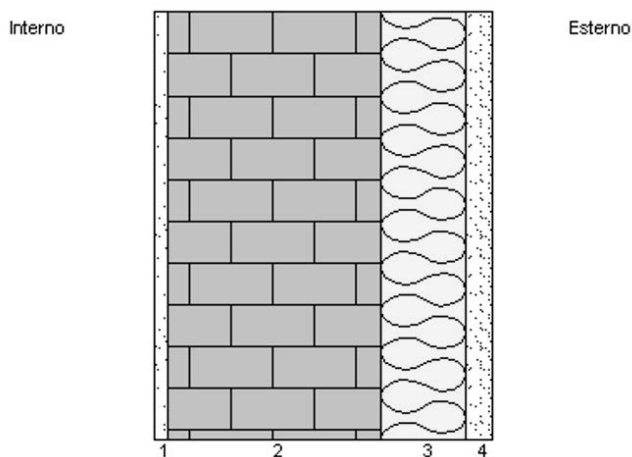
- barriera di vapore con $Z_p > 5 \div 7$ volte quella dello strato impermeabilizzante;
- resistenza termica R degli strati sottostanti la barriera al vapore $\leq 20\%$ della resistenza termica complessiva R_T .

La norma UNI EN ISO 13788 fornisce un metodo per calcolare la quantità di umidità accumulata nei componenti edilizi per effetto della condensazione interstiziale. Tale metodo, basato sull'analisi degli andamenti di p e p_{sat} in funzione della stratigrafia del componente edilizio, rappresenta uno strumento di valutazione del rischio condensazione.

Il **criterio di valutazione delle strutture edilizie** nei confronti della condensazione interstiziale secondo il D.M. 26 giugno 2015 "*Requisiti minimi*" prevede che la verifica termoigrometrica è superata solo in assenza di condensazioni interstiziali.

15.2. ESEMPIO APPLICATIVO DI VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Supponiamo di aver progettato una parete verticale esterna del tipo mostrato in figura.



	Descrizione	Spessore s m	Conducibilità λ W/mK	Resistenza termica R m^2k/W	Riferimento normativo
R_{si}	Resistenza termica superf. interna			0,250	UNI 13788
1	Intonaco di calce e gesso	0,01	0,7	0,014	UNI 10351
2	Laterizi alveolati	0,25	0,301	0,830	UNI 10355
3	Pannelli rigidi in fibra di vetro	0,10	0,038	2,632	UNI 10351
4	Intonaco plastico per cappotto	0,02	0,330	0,061	UNI 10351
R_{se}	Resistenza termica superf. esterna			0,04	UNI 13788

Resistenza totale della struttura	$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$	3,827	m^2K/W
Trasmittanza termica della struttura secondo UNI 6946	$U = 1/R_T$	0,261	W/m^2K

Vengono effettuate le seguenti verifiche.

Verifica del rischio di formazione di muffe

Località	Roma
Altitudine	20 m
Zona climatica	D
Gradi giorno (D.P.R. 412/1993)	1415
Gradi giorno (UNI 10349:2016)	1629
θ_i	20 °C
$\theta_{e,min}$	8,6 °C
φ_i	0,65
R_{si}	0,25 m ² K/W

Mese	Temperatura esterna θ_e [°C]	Pressione esterna p_e [Pa]	Temperatura interna θ_i [°C]	Differenza di pressione Δp [Pa]	Pressione interna $p_i = p_e + \Delta p$ [Pa]
novembre	12,7	1039	20,0	359	1398
dicembre	8,7	935	20,0	501	1436
gennaio	8,1	954	20,0	522	1476
febbraio	9,1	800	20,0	487	1287
marzo	11,5	1004	20,0	402	1406
aprile	15,9	1162	20,0	246	1408

Per evitare la formazione di muffe in corrispondenza della superficie, la norma UNI EN ISO 13788 richiede che, in corrispondenza della superficie interna, l'umidità relativa dell'aria sia $\varphi_i < 80\%$.

Si effettuano mese per mese i calcoli secondo le relazioni 2, 3 e 5:

Formazione muffa			
Mese	Pressione superf. minima $p_{si,min} = p_e/0.8$ [Pa]	$\theta_{si,min}$ [°C]	$f_{Rsi,min}$ [-]
novembre	1748	15,4	0,369
dicembre	1795	15,8	0,629
gennaio	1846	16,2	0,684
febbraio	1609	14,1	0,459
marzo	1757	15,5	0,468
aprile	1759	15,5	- 0,099

Il mese critico risulta essere gennaio, con fattore di temperatura superficiale $f_{Rsi,max} = 0,684$ nei confronti del rischio di formazione di muffe. Pertanto la trasmittanza massima accettabile per la parete, per evitare formazione di muffe, risulta:

$$U = \frac{1 - f_{Rsi,max}}{R_{si}} = 1,264$$

Poiché per la zona climatica D il D.M. 26 giugno 2015 “*Requisiti minimi*” nel caso di nuove costruzioni, demolizioni e ricostruzioni e ristrutturazioni di primo livello non impone un limite di trasmittanza per le pareti verticali, occorrerà verificare che le strutture non abbiano valori di trasmittanza superiori a 1,264.

Per le ristrutturazioni di secondo livello e le riqualificazioni energetiche, il D.M. 26 giugno 2015 “*Requisiti minimi*” impone un limite di trasmittanza per le pareti verticali oggetto di intervento riportato nella tabella 1 dell’appendice B all’Allegato 1 al decreto (già riportata in precedenza, vedi tabella 27).

Possiamo senz’altro affermare che il rispetto dei valori limite di trasmittanza ha come conseguenza la verifica automatica dell’**assenza di rischio di formazione di muffe sulla superficie interna della parete.**

Verifica della condensa interstiziale

Si riportano di seguito i valori di riferimento da utilizzare per la verifica.

Quanto alle **condizioni termoigrometriche dell’aria**, occorrono i valori medi mensili della temperatura θ_e e della p_{ve} dell’aria esterna, per la quale i dati di riferimento sono quelli della norma UNI 10349:2016 (“*Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici*”). Per il nostro caso si faccia riferimento alla tabella seguente.

DATI CLIMATICI ROMA												
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
θ_e	8,1	9,1	11,5	15,9	19,2	22,6	26,4	26,6	21,7	17,8	12,7	8,7
p_{ve}	954	800	1004	1162	1241	1602	1629	1978	1566	1354	1039	935

Quanto ai valori medi mensili della temperatura interna θ_i , in assenza di più specifiche indicazioni, si assume che $\theta_i = 20\text{ °C}$ nella stagione di riscaldamento (UNI TS 11300-1), mentre negli altri mesi, per edifici destinati ad abitazioni (UNI EN ISO 13788):

- $\theta_i = 18\text{ °C}$ per $\theta_e < 18\text{ °C}$;
- $\theta_i = \theta_e$ per $\theta_e \geq 18\text{ °C}$.

Quanto ai valori medi mensili della pressione interna p_{vi} , in assenza di più specifiche indicazioni questo valore va calcolato in funzione di θ_i e della classe di concentrazione di umidità (UNI EN ISO 13788).

Quanto alle proprietà geometriche, termiche e igrometriche del componente, le resistenze termiche superficiali sono le seguenti:

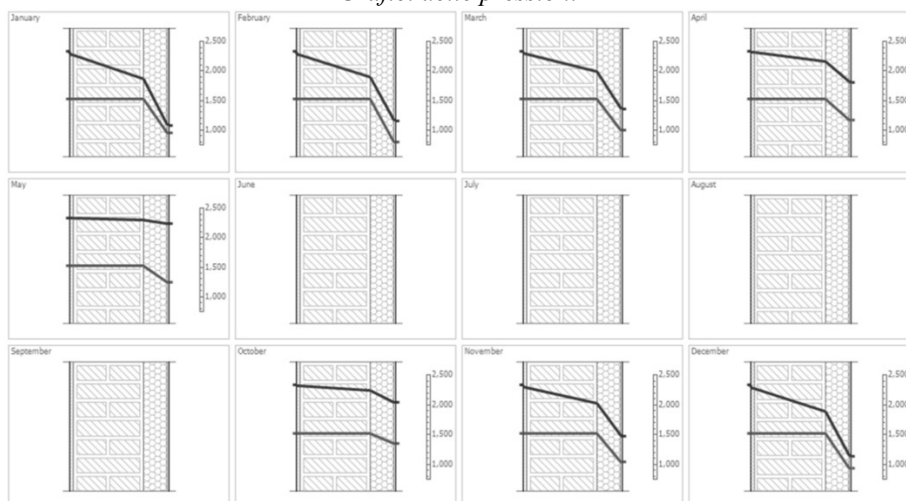
- $R_{si} = 0,25\text{ m}^2\text{K/W}$ (norma UNI EN ISO 13788);
- $R_{se} = 0,04\text{ m}^2\text{K/W}$ (norma UNI EN ISO 13788).

Si riportano di seguito i possibili esiti della verifica.

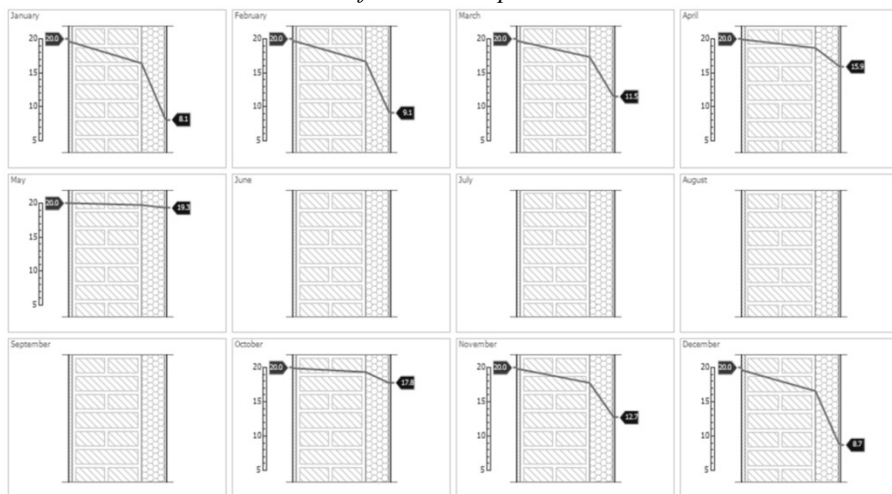
Assenza di condensazione interstiziale

La parete opaca è esente da fenomeni condensativi, questo implica che la verifica è superata. Nel caso della nostra parete abbiamo ottenuto, con un software certificato CTI, i seguenti grafici delle pressioni e delle temperature.

Grafici delle pressioni

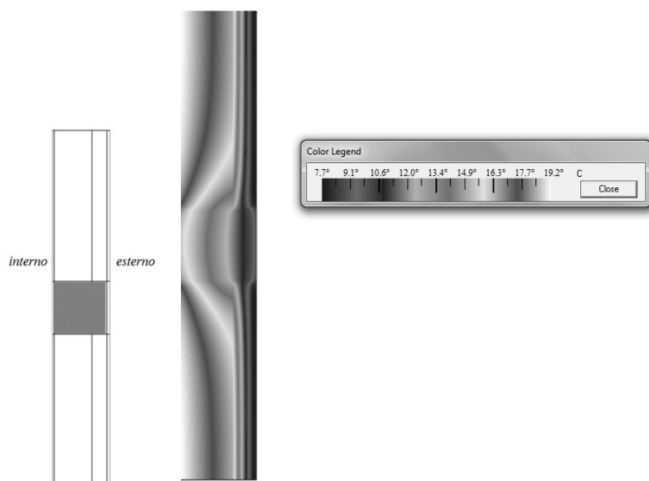


Grafici delle temperature



Verifica del rischio di formazione di muffe in presenza di ponte termico (pilastro)

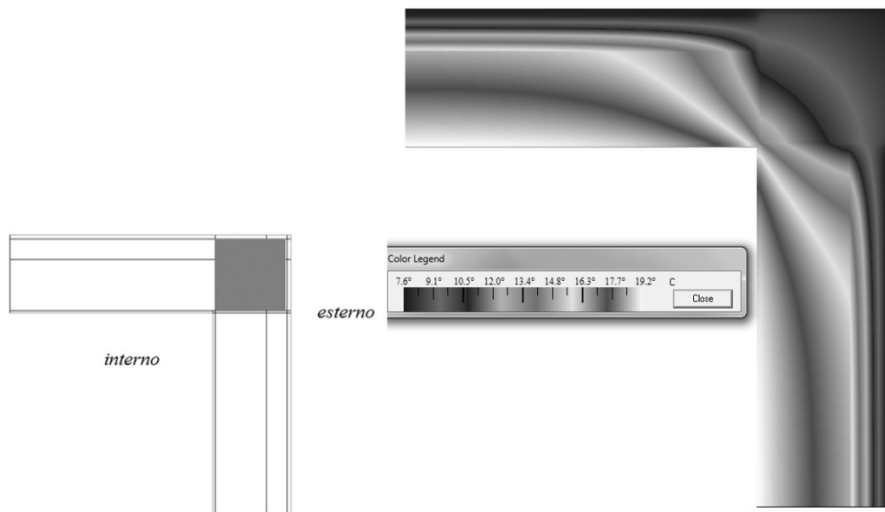
Se la parete precedente è interrotta da un pilastro verticale di sezione $30 \times 35 \text{ cm}^2$ (vedi figura), nella zona del pilastro si verifica un ponte termico. Tale ponte termico, oltre a costituire una maggiorazione del flusso trasmesso rispetto alla condizione di conduzione termica monodimensionale, produce un raffreddamento della superficie interna della parete con conseguente pericolo di raggiungimento delle condizioni idonee allo sviluppo di muffe. In figura sono riportati anche i risultati del calcolo con il software *Therm*. La trasmittanza termica lineica del ponte termico è risultata $\psi_i = \psi_e = 0,548$.



Nella tabella seguente si riepilogano i risultati della verifica al rischio di formazione di muffa sulla superficie interna.

Mese	Temperatura esterna θ_e	Temperatura interna θ_i	$\theta_{si,muffa}$	$f_{Rsi,muffa}$	$\theta_{si,min}$	$f_{Rsi,min}$	Verificato contro il rischio di muffa $f_{Rsi,min} > f_{Rsi,muffa}$
novembre	12,7	20,0	15,4	0,369	17,7	0,685	SI
dicembre	8,7	20,0	15,8	0,629	16,5	0,690	SI
gennaio	8,1	20,0	16,2	0,684	16,3	0,689	SI
febbraio	9,1	20,0	14,1	0,459	16,6	0,688	SI
marzo	11,5	20,0	15,5	0,468	17,3	0,682	SI
aprile	15,9	20,0	15,5	-0,099	18,7	0,683	SI

Se il pilastro verticale, di sezione $35 \times 35 \text{ cm}^2$ (vedi figura), è collocato nell'angolo di intersezione di due pareti verticali, il ponte termico diventa più significativo. In figura sono riportati anche i risultati del calcolo con il software *Therm*. La trasmittanza termica lineica del ponte termico è risultata $\psi_l = 0,380$, $\psi_e = 0,182$.



Nella tabella seguente si riepilogano i risultati della verifica al rischio di formazione di muffa sulla superficie interna. Nei mesi di dicembre e gennaio è presente rischio di sviluppo di muffe.

<i>Mese</i>	<i>Temperatura esterna θ_e</i>	<i>Temperatura interna θ_i</i>	<i>$\theta_{si,muffa}$</i>	<i>$f_{Rsi,muffa}$</i>	<i>$\theta_{si,min}$</i>	<i>$f_{Rsi,min}$</i>	<i>Verificato contro il rischio di muffa $f_{Rsi,min} > f_{Rsi,muffa}$</i>
<i>novembre</i>	12,7	20,0	15,4	0,369	17,1	0,603	SI
<i>dicembre</i>	8,7	20,0	15,8	0,629	15,4	0,593	NO
<i>gennaio</i>	8,1	20,0	16,2	0,684	15,2	0,597	NO
<i>febbraio</i>	9,1	20,0	14,1	0,459	15,6	0,596	SI
<i>marzo</i>	11,5	20,0	15,5	0,468	16,6	0,600	SI
<i>aprile</i>	15,9	20,0	15,5	-0,099	18,3	0,585	SI

Tratto da

Manuale del Progettista e del Certificatore energetico



Segue l'indice del volume



Vincenzo Lattanzi

MANUALE DEL PROGETTISTA E DEL CERTIFICATORE ENERGETICO

1^a edizione

 Legislazione Tecnica

*Dedicato alla nascita
delle mie nipotine Martina e Vittoria
con tutto l'amore che c'è*

© Copyright Legislazione Tecnica 2016

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare nel mese di novembre 2016 da
Digital Print Service srl
Via Torricelli, 9 20090 Segrate (Mi)

Legislazione Tecnica S.r.L.

00144 Roma, Via dell'Architettura 16

Servizio Clienti

Tel. 06/5921743 - Fax 06/5921068
servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Portale informativo: www.legislazionetecnica.it

Shop: ltshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dall'Autore. Esse possono quindi soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il progettista nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane pertanto a carico del progettista la selezione della soluzione da adottare e le conseguenti analisi e dimensionamenti dei componenti.

Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

INDICE

PRESENTAZIONE	17
----------------------------	----

PARTE I PREMESSE E QUADRO NORMATIVO

CAPITOLO 1 - Efficienza energetica in edilizia: inquadramento della tematica	23
1.1. Il parco immobiliare esistente: efficienza energetica e valenze connesse alla riduzione dei consumi	23
1.2. I consumi energetici nel settore civile	24
1.3. Riferimenti per una corretta impostazione ai fini della riqualificazione energetica degli edifici	27
1.4. Mercato italiano delle costruzioni e condizioni del patrimonio edilizio abitativo	29
CAPITOLO 2 - La normativa sulla prestazione energetica in edilizia	31
2.1. La normativa in tema di prestazione energetica degli edifici	31
2.1.1. La prima Direttiva europea 2002/91/CE	31
2.1.2. L'attuazione in Italia: il D. Leg.vo 192/2005 ed i primi provvedimenti attuativi	32
2.1.3. Le successive direttive europee e la seconda fase di attuazione delle norme sulla prestazione energetica in edilizia	34
2.2. Il Testo unico dell'edilizia	37
2.3. Le norme specifiche sugli impianti termici	39
2.3.1. Classificazione del territorio nazionale e categorie degli edifici	39
2.3.2. Funzionamento ed esercizio degli impianti termici	41
2.4. I requisiti minimi di prestazione energetica di edifici e impianti termici	43
2.5. La relazione tecnica di progetto negli interventi edilizi	46
2.6. La certificazione energetica degli edifici	48
2.6.1. Le linee guida per la certificazione energetica degli edifici	48
2.6.2. Contenuti dell'Attestato di prestazione energetica	49
2.6.3. Quando deve essere redatto l'APE	50
2.6.4. Requisiti di qualificazione e di indipendenza del certificatore energetico	51
2.6.5. Durata temporale dell'APE	52
2.6.6. Forma di rilascio dell'APE e deposito in regione	52
2.6.7. L'Attestato di qualificazione energetica	52

2.7. Procedure e metodi di calcolo per la determinazione della prestazione energetica	53
2.7.1. Procedura di calcolo di progetto o di calcolo standardizzato	53
2.7.2. Procedura di calcolo da rilievo sull'edificio	54
2.7.3. Il software "Docet" per il calcolo della prestazione energetica e la redazione dell'APE	55
2.7.4. Sintesi sulle metodologie di calcolo	55
2.8. Ruolo del progettista, del direttore dei lavori e del certificatore energetico	56
2.8.1. Il progettista e il direttore dei lavori	56
2.8.2. Il certificatore energetico	58

PARTE II
REQUISITI PER LA PROGETTAZIONE ENERGETICA
DI EDIFICI E IMPIANTI TERMICI

CAPITOLO 3 - Requisiti di prestazione energetica degli edifici	63
3.1. Normativa di riferimento, il D.M. 26 giugno 2015	63
3.1.1. Contenuti del D.M. 26 giugno 2015	64
3.1.2. Criteri e metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici	65
3.1.3. Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici	70
3.1.4. Funzioni delle regioni e delle province autonome	71
3.1.5. Strumenti di calcolo	71
3.2. Elementi di novità e commenti ai requisiti di prestazione energetica	72
3.2.1. Ambito di applicazione e tipologie di interventi edilizi presi in considerazione	72
3.2.2. Prestazione energetica globale	74
3.2.3. Normativa tecnica di supporto	76
3.2.4. Edificio di riferimento	76
3.2.5. Edifici ad energia quasi zero	78
3.2.6. Diagnosi energetica	78
3.2.7. Nuovi modelli di relazione tecnica	79
3.2.8. Omogeneità ed uniformità di applicazione	79
3.3. Quadro comune e definizioni ai fini della prestazione energetica	80
3.3.1. Criteri generali per il calcolo della prestazione energetica degli edifici	80
3.3.2. Classificazione degli edifici in base alla destinazione d'uso	87

3.3.3.	Definizione di nuova costruzione ed interventi assimilati	88
3.3.4.	Definizione di ristrutturazioni importanti e riqualificazioni	88
	3.3.4.1. <i>Ristrutturazioni importanti</i>	88
	3.3.4.2. <i>Riqualificazioni energetiche</i>	90
3.3.5.	Deroghe	91
3.4.	Descrizione e parametri dell'edificio di riferimento	91
3.4.1.	Definizione di edificio di riferimento	91
3.4.2.	Parametri relativi al fabbricato (involucro edilizio)	92
3.4.3.	Parametri relativi agli impianti tecnici	95
	3.4.3.1. <i>Servizi di climatizzazione invernale, climatizzazione estiva, acqua calda sanitaria e produzione di energia elettrica in situ</i>	96
	3.4.3.2. <i>Fabbisogni energetici di illuminazione</i>	97
	3.4.3.3. <i>Fabbisogni energetici di ventilazione</i>	98
3.4.4.	Altri parametri per le verifiche di legge	98
	3.4.4.1. <i>Coefficiente medio globale di scambio termico</i>	98
	3.4.4.2. <i>Area solare equivalente estiva</i>	99
3.5.	Prescrizioni e requisiti per gli edifici e gli interventi edilizi	100
3.5.1.	CASO 1 - Prescrizioni comuni per gli edifici di nuova costruzione ed assimilati, gli edifici oggetto di ristrutturazioni importanti o gli edifici sottoposti a riqualificazione energetica	100
	3.5.1.1. <i>1° Prescrizione - Relazione tecnica e conformità delle opere al progetto</i>	101
	3.5.1.2. <i>2° Prescrizione - Progettazione mirata al massimo contenimento dei consumi di energia per edifici ed impianti</i>	103
	3.5.1.3. <i>3° Prescrizione - Verifica termoigrometrica</i>	103
	3.5.1.4. <i>4° Prescrizione - Contenimento temperatura interna ambienti per la climatizzazione estiva</i> ..	104
	3.5.1.5. <i>5° Prescrizione - Altezze minime dei locali</i>	107
	3.5.1.6. <i>6° Prescrizione - Rendimenti generatori a biomassa</i>	107
	3.5.1.7. <i>7° Prescrizione - Trattamento acqua di alimentazione generatori</i>	109
	3.5.1.8. <i>8° Prescrizione - Obbligo di contatori volume acqua calda sanitaria e volume acqua di reintegro riscaldamento</i>	109
	3.5.1.9. <i>9° Prescrizione - Impianti di micro-cogenerazione</i>	110
	3.5.1.10. <i>10° Prescrizione - Ascensori e scale mobili</i> ..	111

3.5.2.	CASO 2 - Requisiti e prescrizioni specifici per gli edifici di nuova costruzione, demolizioni e ricostruzioni, o soggetti a ristrutturazioni importanti di primo livello - Requisiti degli edifici a energia quasi zero	113
3.5.2.1.	<i>1° Prescrizione - Presenza di reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento</i>	113
3.5.2.2.	<i>2°, 3°, 4°, e 5° Prescrizione - Certificazione fattori di conversione di reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento</i>	114
3.5.2.3.	<i>6° Prescrizione - Sistemi per la regolazione automatica della temperatura ambiente</i>	114
3.5.2.4.	<i>7° Prescrizione - Sistemi di misurazione intelligente</i>	115
3.5.2.5.	<i>8° Prescrizione - Sistemi di contabilizzazione del calore</i>	115
3.5.2.6.	<i>9° Prescrizione - Livello minimo di automazione (BACS)</i>	117
3.5.2.7.	<i>1° Requisito - Requisiti determinati sulla base dell'edificio di riferimento</i>	118
3.5.2.8.	<i>2° Requisito - Determinazione di parametri, indici di prestazione energetica e loro verifica</i>	118
3.5.2.9.	<i>3° Requisito - Determinazione di indici di prestazione energetica con i pertinenti fattori di conversione</i>	122
3.5.2.10.	<i>4° Requisito - Parametri dinamici per la climatizzazione estiva</i>	122
3.5.2.11.	<i>5° Requisito - Trasmittanza (U) delle strutture edilizie di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti</i>	127
3.5.2.12.	<i>6° Requisito - Trasmittanza delle strutture opache, verticali, orizzontali e inclinate che delimitano verso l'ambiente esterno gli ambienti non dotati di impianto di climatizzazione</i>	128
3.5.2.13.	<i>7° Requisito - Obbligo fonti rinnovabili</i>	128
3.5.2.14.	<i>8° Requisito - Determinazione della classe energetica</i>	128
3.5.2.15.	<i>Requisiti degli edifici a energia quasi zero</i>	129
3.5.3.	CASO 2-BIS - Requisiti e prescrizioni specifici per gli edifici di nuova costruzione, demolizioni e ricostruzioni, o soggetti a ristrutturazioni importanti di primo livello - Requisiti degli edifici a energia quasi zero	129
3.5.4.	CASO 3 - Requisiti e prescrizioni specifici per gli edifici soggetti a ristrutturazioni importanti di secondo livello .	130

3.5.4.1. <i>Requisiti e prescrizioni per gli interventi sull'involucro</i>	131
3.5.4.2. <i>Requisiti e prescrizioni per la riqualificazione degli impianti tecnici</i>	135
3.5.5. CASO 4 - <i>Requisiti e prescrizioni specifici per gli edifici esistenti sottoposti a riqualificazione energetica</i>	143
3.5.5.1. <i>Requisiti e prescrizioni per gli interventi sull'involucro</i>	144
3.5.6. <i>Quadro di sintesi delle casistiche e degli adempimenti</i>	146
3.5.6.1. <i>Riepilogo delle possibili casistiche</i>	146
3.5.6.2. <i>Prescrizioni, requisiti e verifiche in funzione della tipologia di intervento</i>	148

CAPITOLO 4 - Altri requisiti per gli impianti termici e l'involucro

edilizio	161
4.1. <i>Requisiti e dimensionamento degli impianti termici</i>	161
4.2. <i>Termoregolazione e contabilizzazione del calore</i>	165
4.3. <i>Bonus volumetrici e deroghe a distanze tra edifici</i>	167

CAPITOLO 5 - Obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili negli

edifici	169
5.1. <i>Premessa</i>	169
5.2. <i>Riepilogo degli obblighi vigenti</i>	169
5.3. <i>Altre misure di semplificazione previste dal D. Leg.vo 28/2011</i>	176

PARTE III

CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CAPITOLO 6 - Le norme tecniche di riferimento	179
6.1. <i>Le norme tecniche nazionali e le norme UNI TS 11300 del Comitato termotecnico italiano</i>	179
6.2. <i>Determinazione della prestazione energetica del sistema edificio impianti</i>	180

CAPITOLO 7 - Calcolo della prestazione energetica degli edifici per la climatizzazione invernale

7.1. <i>Premessa</i>	189
7.2. <i>Calcolo della prestazione energetica degli edifici per la climatizzazione invernale</i>	191
7.2.1. <i>Individuazione del sistema edificio-impianto ai fini del calcolo della prestazione energetica</i>	195
7.2.2. <i>Confini delle zone termiche</i>	196
7.2.3. <i>Area climatizzata</i>	196

7.2.4.	Volume netto dell'ambiente climatizzato	196
7.2.5.	Descrizione sintetica della procedura di calcolo prevista dalla UNI TS 11300-1	197
7.2.5.1.	<i>Fabbisogno di energia termica utile degli spazi riscaldati</i>	197
7.2.5.1.1.	Calcolo dello scambio termico totale	198
7.2.5.1.2.	Calcolo del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione.....	205
7.2.5.1.3.	Extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste	215
7.2.5.1.4.	Apporti solari su componenti opachi	216
7.2.5.1.5.	Calcolo del coefficiente globale di scambio termico per ventilazione	219
7.2.5.1.6.	Calcolo dello scambio termico totale	224
7.2.5.1.7.	Calcolo dell'apporto gratuito termico totale.....	224
7.2.5.1.7.1.	Calcolo degli apporti gratuiti termici interni	224
7.2.5.1.7.2.	Calcolo degli apporti gratuiti termici solari attraverso componenti finestrati	226
7.2.5.1.7.3.	Fattore di utilizzazione degli apporti termici gratuiti	229
7.2.5.2.	<i>Calcolo del fabbisogno di energia termica per umidificazione</i>	230
7.2.5.2.1.	Calcolo degli scambi di vapore	231
7.2.6.	Fabbisogno di energia primaria ed indice di prestazione energetica - Utilizzo della norma UNI TS 11300-2	231
7.2.6.1.	<i>Fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento dell'edificio</i>	232
7.2.6.2.	<i>Metodi di valutazione e calcolo previsti dalla norma UNI TS 11300-2</i>	234
7.2.6.3.	<i>Metodo di calcolo semplificato previsto dalla norma UNI TS 11300-2</i>	240
7.2.7.	Calcolo degli indici di prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale	248
7.2.8.	Calcolo dell'efficienza globale media stagionale dell'impianto	249

CAPITOLO 8 - Calcolo della prestazione energetica degli edifici per la climatizzazione estiva	251
8.1. Premessa	251
8.2. Calcolo della prestazione energetica degli edifici per la climatizzazione estiva	252
8.2.1. Individuazione del sistema edificio-impianto ai fini del calcolo della prestazione energetica	252

8.2.2.	Confini delle zone termiche	252
8.2.3.	Area climatizzata	253
8.2.4.	Volume netto dell'ambiente climatizzato	253
8.2.5.	Descrizione sintetica della procedura di calcolo prevista dalla UNI TS 11300-1	253
8.2.5.1.	<i>Fabbisogno di energia termica utile degli spazi raffrescati</i>	254
8.2.5.2.	<i>Calcolo dell'apporto gratuito termico totale</i> ...	254
8.2.5.3.	<i>Calcolo dello scambio termico totale e degli scambi termici per trasmissione e ventilazione</i>	254
8.2.5.4.	<i>Calcolo del fabbisogno di energia utile (netta) dell'edificio per raffrescamento</i>	259
8.3.	Calcolo del fabbisogno di energia termica per deumidificazione	259
8.3.1.	Calcolo degli scambi di vapore	259
8.4.	Calcolo del fabbisogno di energia primaria secondo la norma UNI TS 11300-3 e determinazione dell'indice di prestazione energetica	260

CAPITOLO 9 - Calcolo del fabbisogno energetico per acqua calda

sanitaria	275
9.1. Premessa	275
9.2. Calcolo del fabbisogno di energia termica utile per acqua calda sanitaria	275
9.3. Calcolo del fabbisogno di energia primaria, per acqua calda sanitaria. Metodi di valutazione previsti dalla norma UNI TS 11300-2	277
9.4. Procedura di calcolo	279
9.5. Esempio di calcolo dell'indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria	287

CAPITOLO 10 - Calcolo del fabbisogno energetico per climatizzazione invernale e acqua calda sanitaria con utilizzo di energie rinnovabili ed altri metodi di generazione

10.1. Premessa	297
10.2. Principi generali per il calcolo	298
10.2.1. Definizione del confine del sistema edificio	298
10.2.2. Procedura di calcolo	299
10.2.3. Fabbisogni di energia termica utile e perdite d'impianto	300
10.2.4. Fabbisogno di energia termica utile dalla generazione	300
10.2.5. Metodi di calcolo dei sottosistemi di generazione	301
10.2.6. Priorità di intervento dei generatori	301
10.2.7. Sequenza di calcolo dei sottosistemi di generazione	303
10.2.8. Rendimento di un sottosistema di generazione	303

10.2.9.	Fabbisogno di energia primaria dell'edificio	304
10.2.10.	Fabbisogno di energia primaria per vettore energetico	304
10.2.11.	Attribuzione dell'energia primaria a zone e servizi ...	304
10.2.12.	Produzione di CO ₂	305
10.3.	Solare termico	305
10.3.1.	Tipologie di sistemi solari termici	306
10.3.2.	Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	306
10.3.3.	Bilancio energetico di un sottosistema solare termico	307
10.3.4.	Calcolo della quota di fabbisogno di energia termica soddisfatta da sistemi solari termici	307
10.4.	Solare fotovoltaico	307
10.4.1.	Metodo di calcolo	308
10.5.	Combustione di biomasse	309
10.5.1.	Bilancio termico del sottosistema	309
10.5.2.	Tipologie di generatori	310
10.5.3.	Metodo di calcolo	310
10.5.4.	Rendimenti di generazione precalcolati	311
10.5.5.	Perdite recuperabili, non recuperabili e recuperate ...	312
10.5.6.	Calcolo dell'energia dei sistemi ausiliari	312
10.5.7.	Sottosistema di accumulo	313
10.5.8.	Quota di energia utile attribuita dai generatori a biomassa in sistemi bivalenti	314
10.6.	Pompe di calore	315
10.6.1.	Classificazione degli impianti con pompa di calore e tipi di servizio	315
10.6.2.	Prestazioni delle pompe di calore	316
10.6.3.	Generalità sul metodo di calcolo	317
10.6.4.	Procedura di calcolo e dati necessari	327
10.6.5.	Generalità sulle procedure di calcolo - Pompe di calore e servizi forniti	332
	10.6.5.1. <i>Pompe di calore per la produzione di acqua calda sanitaria</i>	332
	10.6.5.2. <i>Pompe di calore per il riscaldamento</i>	333
	10.6.5.3. <i>Pompe di calore per servizio combinato</i>	335
10.7.	Teleriscaldamento	335
10.7.1.	Metodo di calcolo	336
10.7.2.	Bilancio termico della sottostazione	336
10.7.3.	Fabbisogni di energia termica utile e perdite d'impianto	337
10.7.4.	Perdite di potenza termica della sottostazione in ambiente	337
	10.7.4.1. <i>Perdite di energia</i>	338
	10.7.4.2. <i>Perdite di regolazione</i>	338
10.7.5.	Fabbisogno di energia degli ausiliari elettrici	338

10.7.6. Fabbisogno di energia dalla rete di teleriscaldamento	338
10.8. Cogenerazione	339
10.8.1. Classificazione delle unità cogenerative	340
10.8.2. Generalità sulla procedura di calcolo - Confini del sottosistema cogenerativo	341
10.8.2.1. <i>Dati di ingresso e intervallo di calcolo</i>	342
10.8.2.2. <i>Verifica del dimensionamento del sistema di accumulo inerziale</i>	342
10.8.3. Metodi di calcolo - Scelta del metodo di calcolo	344
10.8.3.1. <i>Metodo del contributo frazionale mensile - Limiti di applicabilità</i>	344
10.8.3.2. <i>Metodo basato sul profilo del giorno tipo mensile</i>	344
CAPITOLO 11 - Calcolo del fabbisogno energetico per ventilazione meccanica e climatizzazione invernale in presenza di impianti aeraulici	345
11.1. Premessa	345
11.2. Fabbisogni di energia per la ventilazione meccanica	345
11.3. Fabbisogni di energia per la climatizzazione invernale con impianti aeraulici	347
11.4. Calcolo del fabbisogno di umidificazione dell'aria	348
11.5. Classificazione degli impianti aeraulici ed indicazioni per il calcolo dei fabbisogni	349
CAPITOLO 12 - Calcolo del fabbisogno energetico per illuminazione	351
12.1. Fabbisogno di energia primaria per l'illuminazione secondo la norma UNI TS 11300-2	351
12.1.1. Calcolo del fabbisogno annuo di energia primaria per illuminazione di ambienti interni	351
12.1.2. Calcolo del fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza	353
12.1.3. Calcolo del fabbisogno annuo di energia primaria per illuminazione delle zone esterne	353
12.1.4. Calcolo del fabbisogno annuo di energia primaria per illuminazione dell'edificio	354
CAPITOLO 13 - Calcolo del fabbisogno energetico per il trasporto di persone e/o cose	355
13.1. Premessa	355
13.2. Fabbisogno di energia per il trasporto di persone e/o cose	355
13.2.1. Fabbisogno di energia degli ascensori	356

13.2.2. Fabbisogno di energia dei montascale e piattaforme mobili	357
13.2.3. Fabbisogno di energia dei montacarichi e montauto .	357
13.2.4. Fabbisogno di energia di scale e marciapiedi mobili .	358

CAPITOLO 14 - Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili	361
14.1. Premessa	361
14.2. Definizione della prestazione energetica	362
14.3. Calcolo del fabbisogno annuale di energia primaria globale ..	363
14.4. Calcolo del fabbisogno annuale di energia primaria per singolo servizio	364
14.5. Calcolo del fabbisogno mensile di energia primaria per singolo servizio	364
14.6. Calcolo dei fabbisogni mensili per servizio, dell'energia fornita da fonti <i>in situ</i> e dell'energia da vettori <i>ex situ</i>	366
14.7. Calcolo della quota di energia da fonti rinnovabili	370
14.8. Esempio numerico per generatori di produzione di energia elettrica	371

CAPITOLO 15 - La verifica termoigrometrica	375
15.1. Modalità per condurre la verifica	375
15.2. Esempio applicativo di verifica termoigrometrica	382

CAPITOLO 16 - Parametri dinamici: inerzia termica, massa superficiale e trasmittanza termica periodica di una parete opaca .	389
16.1. Premessa	389
16.2. Massa superficiale degli elementi opachi	390
16.3. Trasmittanza termica periodica di una parete opaca	391
16.3.1. Premessa teorica	391
16.3.2. Metodi di calcolo semplificati	393
16.4. Esempi applicativi e verifiche di trasmittanza termica periodica e massa superficiale	401

PARTE IV
RELAZIONE TECNICA DI PROGETTO, ADEMPIMENTI E
CONTROLLI DELLE AMMINISTRAZIONI

CAPITOLO 17 - La relazione tecnica di progetto	409
17.1. Norme sul contenuto e la compilazione della relazione tecnica	409
17.2. Finalità, obiettivi e chiarimenti sulla relazione tecnica	413
17.3. Il D.M. 26 giugno 2015 contenente gli schemi della relazione	417
17.3.1. Aspetti generali	417

17.4.	Istruzioni per la compilazione della relazione tecnica	418
17.4.1.	Nuove costruzioni ed interventi assimilati, ristrutturazioni importanti di primo livello, edifici ad energia quasi zero ..	418
17.4.2.	Riqualificazione energetica, ristrutturazioni importanti di secondo livello, edifici esistenti con riqualificazione dell'involucro edilizio e di impianti termici	437
17.4.3.	Riqualificazione energetica degli impianti tecnici	445

CAPITOLO 18 - Gli adempimenti delle amministrazioni comunali e le verifiche di conformità edilizia degli edifici 451

18.1	Gli adempimenti delle amministrazioni comunali: accertamenti e ispezioni di edifici e impianti dopo il D.M. 26 giugno 2015 ..	451
18.2.	Dettaglio degli adempimenti	453
18.2.1.	Individuazione della zona climatica e dei gradi giorno	453
18.2.2.	Deroghe alla temperatura massima ambiente	454
18.2.3.	Deroghe al periodo annuale di esercizio e alla durata giornaliera di attivazione	454
18.2.4.	Lo sportello unico	457
18.2.5.	Denunce di difformità	458
18.2.6.	Le disposizioni del D. Leg.vo 192/2005: accertamenti ed ispezioni	458
	18.2.6.1. Fase 1: attività di accertamento	459
	18.2.6.2. Fase 2: controlli in corso d'opera o entro 5 anni dalla fine lavori dichiarata dal committente	475
18.3.	Le azioni principali a carico delle amministrazioni comunali ..	477
18.3.1.	Controlli in corso d'opera	477
18.3.2.	Controlli entro 5 anni dalla ultimazione dei lavori	480
18.3.3.	Controlli a richiesta del committente, dell'acquirente o del conduttore dell'immobile	480

PARTE V

CERTIFICAZIONE DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA

CAPITOLO 19 - Attestato di prestazione e Attestato di qualificazione energetica 483

19.1.	Attestato di prestazione energetica, rilascio e affissione	483
19.2.	Attestato di qualificazione energetica (AQE)	489
19.3.	Sanzioni	489

CAPITOLO 20 - Soggetti abilitati alla certificazione energetica degli edifici	493
20.1. Norma di riferimento	493
20.2. Soggetti abilitati alla certificazione energetica degli edifici	495
20.2.1. Disciplina dei “tecnici abilitati”	496
20.2.1.1. <i>Tecnico abilitato con requisiti di tipo A (professionista iscritto all’Ordine o Collegio)</i> ..	496
20.2.1.2. <i>Tecnico abilitato con requisiti di tipo B (titolo di studio e corso di formazione)</i>	504
20.2.1.3. <i>Corsi di formazione</i>	509
20.2.1.4. <i>Problematiche e criticità</i>	511
20.2.2. Requisiti di indipendenza ed imparzialità dei soggetti abilitati alla certificazione energetica	511
CAPITOLO 21 - Le linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici	513
21.1. Premessa ed elementi di novità del D.M. 26 giugno 2015	513
21.2. L’Attestato di prestazione energetica	516
21.2.1. Classe energetica degli edifici	517
21.2.2. Procedure e metodi di calcolo	518
21.2.2.1. <i>Procedura di calcolo di progetto o di calcolo standardizzato</i>	519
21.2.2.2. <i>Procedura di calcolo da rilievo sull’edificio</i> .	519
21.2.2.3. <i>Sintesi delle procedure di calcolo</i>	520
21.3. Monitoraggi e controlli	521
21.3.1. Sistema informativo sugli attestati di prestazione energetica (SIAPE)	521
21.4. Contenuti e redazione dell’attestato di prestazione energetica.	522
21.4.1. L’Indice di prestazione energetica	522
21.4.2. Prestazione energetica e servizi energetici	524
21.4.3. Procedure per la determinazione della prestazione energetica	525
21.4.3.1. <i>Procedura di calcolo di progetto o di calcolo standardizzato</i>	526
21.4.3.2. <i>Procedura di calcolo da rilievo sull’edificio</i> .	527
21.4.3.3. <i>Criteri per l’applicazione delle procedure di calcolo</i>	527
21.4.4. Metodi per il calcolo della prestazione energetica	528
21.4.4.1. <i>Metodo di calcolo di progetto</i>	528
21.4.4.2. <i>Metodo di calcolo da rilievo sull’edificio</i>	529
21.4.4.3. <i>Caratteristiche degli applicativi informatici</i> .	530
21.4.4.4. <i>Riepilogo metodi di calcolo</i>	530

21.4.5. Classificazione degli immobili in funzione della prestazione energetica	531
21.4.5.1. <i>Rappresentazione delle prestazioni, scala delle classi e soglia di riferimento legislativo</i>	532
21.4.5.2. <i>Altri indicatori presenti nell'APE: prestazione energetica dell'involucro</i>	534
21.4.5.3. <i>Comparazione della prestazione energetica degli immobili</i>	536
21.4.6. Il format dell'Attestato di prestazione energetica	536
21.4.7. Procedura operativa per committente e certificatore .	544
21.4.7.1. <i>Nomina del certificatore energetico</i>	544
21.4.7.2. <i>Informativa da parte del certificatore</i>	545
21.4.7.3. <i>Modalità di svolgimento della prestazione da parte del certificatore</i>	546
21.4.7.4. <i>Obbligo di registrazione dell'Attestato di prestazione energetica</i>	547
21.4.8. Attestazione della prestazione energetica di singole unità immobiliari o di interi edifici	547
CAPITOLO 22 - Certificazione energetica e criticità irrisolte	549
22.1. Qualità degli attestati di prestazione energetica	549
22.2. Il soggetto certificatore ed i requisiti del D.P.R. 75/2013: il punto più debole della catena	551
22.3. Revisione dei corsi di formazione per i certificatori	553
22.4. Monitoraggi e controlli	554
22.5. Conclusioni, necessità e prospettive	555
INDICE DELLE TABELLE	561
INDICE DELLE FIGURE	567

LA VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Valutazione del rischio di formazione di muffe sulla superficie interna dell'involucro edilizio con esempio applicativo

a cura di

Vincenzo Lattanzi

Ingegnere, esperto di efficienza energetica di edifici ed impianti, coordinatore scientifico e docente in corsi sulla certificazione energetica degli edifici, Energy manager ed Esperto CTI.

Tratto da

Manuale del Progettista e del Certificatore energetico



Quadro normativo sulla prestazione energetica in edilizia

Requisiti per la progettazione di edifici e impianti

Calcolo della prestazione per tutti i servizi energetici

Relazione tecnica di progetto, adempimenti e controlli delle amministrazioni

Certificazione della prestazione energetica