



VINCENZO CALVO

PRESTAZIONE ENERGETICA E REQUISITI MINIMI DEGLI EDIFICI

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA E LEGGE N. 10/1991

GUIDA ALLE NUOVE METODOLOGIE DI CALCOLO
AGGIORNATA AL D.M. 28 OTTOBRE 2025



GRAFILL

Vincenzo Calvo

PRESTAZIONE ENERGETICA E REQUISITI MINIMI DEGLI EDIFICI

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA E LEGGE N. 10/1991

GUIDA ALLE NUOVE METODOLOGIE DI CALCOLO

AGGIORNATA AL D.M. 28 OTTOBRE 2025

Ed. I (01-2026)

ISBN 13 978-88-277-0524-7

EAN 9 788827 7 05247

Collana **MANUALI**



Licenza d'uso da leggere attentamente
prima di attivare la WebApp o il Software incluso

Usa un QR Code Reader
oppure collegati al link <https://grafill.it/licenza>

Per assistenza tecnica sui prodotti Grafill aprire un ticket su <https://www.supporto.grafill.it>

L'assistenza è gratuita per 365 giorni dall'acquisto ed è limitata all'installazione e all'avvio del prodotto, a condizione che la configurazione hardware dell'utente rispetti i requisiti richiesti.

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 - 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313 – Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

CONTATTI IMMEDIATI



Pronto GRAFILL
Tel. 091 6823069



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare presso **Tipografia Publistampa S.n.c. – Palermo**

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

SOMMARIO

INTRODUZIONE	p.	7
1. ASPETTI LEGISLATIVI E NORMATIVI SUL RISPARMIO ENERGETICO DEGLI EDIFICI	"	9
1.1. Norme collegate direttamente e indirettamente al nuovo Decreto Requisiti Minimi (di cui al D.M. 28 ottobre 2025)	"	10
1.2. Legge 9 gennaio 1991, n. 10.....	"	12
1.3. D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412	"	14
1.4. Direttiva 2002/91/CE del parlamento europeo e del consiglio sul rendimento energetico nell'edilizia	"	15
1.5. D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192.....	"	16
1.6. D.Lgs. 29 dicembre 2006, n. 311.....	"	18
1.7. D.Lgs. 30 giugno 2008, n. 115	"	19
1.8. D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59.....	"	19
1.9. D.M. 26 giugno 2009	"	28
1.10. Direttiva 2010/31/CE del parlamento europeo e del consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia	"	29
1.11. D.L. 4 giugno 2013, n. 63	"	30
1.12. D.P.R. 16 aprile 2013, n. 74.....	"	32
1.13. UNI/TS 11300	"	33
2. IL DECRETO REQUISITI MINIMI 2025.....	"	37
2.1. Premessa	"	37
DECRETO DEL MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO 26 GIUGNO 2025	"	40
<i>Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.</i>		
<u>Testo coordinato con il Decreto del Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica 28 ottobre 2025</u>	"	40

3. D.M. 28 OTTOBRE 2025: ANALISI APPROFONDITA E METODOLOGIE DI CALCOLO	p. 95
3.1. La prestazione energetica degli edifici	"	96
3.2. Fabbisogno energetico annuale globale in energia primaria.....	"	97
3.3. Energia prodotta da fonti rinnovabili.....	"	98
3.4. Il fattore di conversione	"	99
3.5. Classificazione degli edifici	"	100
3.6. Nuove costruzioni.....	"	101
3.7. Ampliamenti	"	101
3.8. Cambio di destinazione d'uso.....	"	102
3.9. Ristrutturazioni importanti	"	102
3.10. Riqualificazioni.....	"	102
3.11. Deroghe.....	"	103
3.12. Relazione tecnica e conformità delle opere	"	104
4. LE NORME UNI 10349-1	"	106
4.1. Le norme UNI 10349-2	"	107
4.1.1. Principali aggiornamenti	"	108
4.1.2. Cambiamenti strutturali	"	108
4.1.3. Impatto pratico	"	108
4.2. Le norme UNI 10340-3.....	"	108
4.2.1. Contenuti principali	"	108
4.2.2. Differenze con la versione del 1994	"	108
4.2.3. Principali aggiornamenti	"	109
4.2.4. Impatto normativo	"	109
5. LE NORME UNI EN ISO 13788	"	110
5.1. Condensazione Interstiziale	"	110
5.2. Condensazione superficiale e muffa.....	"	111
5.3. Applicazione pratica	"	111
5.4. Parametri climatici	"	111
5.5. Parametri termici.....	"	111
5.6. Parametri igroscopici.....	"	112
6. LE NORME UNI EN ISO 10211	"	113
6.1. Variazioni nelle condizioni al contorno tra le due edizioni	"	113
6.1.1. Differenze con la versione del 1994	"	114
6.1.2. Principali aggiornamenti	"	114
6.1.3. Impatto normativo	"	114
7. TRASMISSIONE DEL CALORE	"	115
7.1. Conduzione	"	115

7.2.	Convezione.....	p. 116
7.3.	Irraggiamento.....	" 117
7.4.	Trasmittanza e resistenza termica	" 117
8.	FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA DI UN EDIFICIO E VERIFICA DEL COEFFICIENTE VOLUMICO DI DISPERSIONE (C_d)	" 119
8.1.	Carico termico attraverso pareti opache verso l'esterno	" 120
8.2.	Carico termico attraverso pareti opache verso ambienti non riscaldati	" 120
8.3.	Carico termico attraverso pareti opache verso il terreno	" 122
8.4.	Carico termico attraverso superfici trasparenti	" 123
8.5.	Carico termico attraverso ponti termici.....	" 124
8.6.	Carico termico per ventilazione	" 126
8.7.	Verifica del coefficiente volumico di dispersione C_d	" 127
9.	VERIFICA TERMO-IGROMETRICA DELLE PARETI	" 128
9.1.	Temperatura superficiale	" 128
9.2.	Pressione di saturazione del vapore all'interno di una parete	" 130
9.3.	Pressione parziale del vapore all'interno di una parete	" 132
9.4.	Verifica termo-igrometrica o verifica di Glaser	" 133
10.	RENDIMENTO GLOBALE MEDIO STAGIONALE	" 135
10.1.	Rendimento medio stagionale dell'impianto di riscaldamento.....	" 135
10.2.	Rendimento medio stagionale dell'impianto di produzione acqua calda sanitaria.....	" 136
10.3.	Rendimento globale medio stagionale.....	" 136
10.4.	Verifica del rendimento globale medio stagionale dell'impianto	" 136
11.	ZONE CLIMATICHE E GRADI GIORNO	" 138
11.1.	Zone climatiche	" 138
11.2.	Gradi Giorno	" 138
12.	CLASSIFICAZIONE GENERALE DEGLI EDIFICI PER CATEGORIE	" 140
13.	VALORI MASSIMI DELLA TEMPERATURA AMBIENTE	" 141
13.1.	Temperatura interna di progetto per impianti di climatizzazione invernale	" 141
13.2.	Valori massimi della temperatura ambiente.....	" 142

14. LIMITI DI ESERCIZIO DEGLI IMPIANTI	p. 143
15. APE E NUOVE METODOLOGIE DI CALCOLO	" 146
15.1. Obiettivo dell'APE e ruolo della classe energetica	" 147
15.2. Nuove metodologie di calcolo dell'APE	" 148
15.3. Indice di prestazione energetica globale non rinnovabile <i>EPgl,nren</i>	" 148
15.4. Edificio di riferimento e valore di riferimento <i>EPgl,nren,rif,standard</i>	" 149
15.5. Passaggi per definire la classe energetica di un edificio	" 149
15.5.1. Raccolta dei dati tecnici	" 149
15.5.2. Scelta della procedura di calcolo	" 150
15.5.3. Calcolo degli indici di prestazione energetica	" 150
15.5.4. Determinazione del valore di riferimento <i>EPgl,nren,rif,standard</i>	" 150
15.5.5. Calcolo dell'indice <i>EPgl,nren</i> dell'edificio reale	" 150
15.5.6. Assegnazione della classe energetica	" 151
15.6. Altri indicatori presenti nell'APE	" 155
15.7. Nuove indicazioni dell'EPBD Recast (nuovo APE)	" 155
15.8. Ruolo del tecnico certificatore	" 156
15.8.1. Identità e requisiti del tecnico	" 156
15.8.2. Ruolo principale: redazione dell'APE	" 157
15.8.3. Sopralluogo e rilievo tecnico	" 157
15.8.4. Indipendenza e terzietà	" 157
15.8.5. Responsabilità professionale	" 158
15.8.6. Consulenza e supporto al committente	" 158
15.8.7. Aggiornamento e formazione continua	" 158
15.8.8. Ruolo nel mercato immobiliare e nella pianificazione energetica	" 159

INTRODUZIONE

L'energia utilizzata per il riscaldamento degli edifici e la produzione di acqua calda sanitaria rappresenta circa il 40% del consumo energetico complessivo nell'Unione Europea. Gli interventi volti al risparmio energetico devono perseguire i seguenti obiettivi:

- ridurre i consumi energetici e le spese legate a riscaldamento e condizionamento;
- migliorare il comfort abitativo all'interno degli edifici;
- diminuire l'uso di combustibili fossili;
- tutelare l'ambiente e limitare l'inquinamento.

Gran parte dell'energia necessaria per mantenere il comfort termico (20°C in inverno e 26°C in estate) viene dispersa sia dagli impianti sia dalle strutture edilizie, come serramenti, murature e coperture. Il benessere termico dipende dalle condizioni termo-igrometriche e dalla velocità dell'aria all'interno degli ambienti.

A livello nazionale, sono state emanate diverse leggi e decreti che definiscono requisiti e criteri per la progettazione di nuove costruzioni e per la riqualificazione energetica dell'edilizia esistente. Tra le principali normative italiane in materia di risparmio energetico segnaliamo:

- la Legge 9 gennaio 1991, n. 10;
- il D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192;
- il D.Lgs. 29 dicembre 2006, n. 311;
- il D.L. 4 giugno 2013, n. 63,
- e più recentemente il D.M. 28 ottobre 2025.

La Legge n. 10/1991 ha introdotto l'obbligo di depositare presso gli uffici tecnici comunali una relazione tecnica energetica, ha classificato gli edifici in base alla loro destinazione d'uso e ha suddiviso il territorio italiano in sei zone climatiche, basate sul parametro dei gradi giorno (GG).

Il D.Lgs. n. 192/2005 ha aggiornato i metodi di verifica, introducendo nuovi criteri per la valutazione della trasmittanza degli involucri edilizi e un rinnovato metodo di calcolo del rendimento energetico degli edifici. Le innovazioni principali di questo decreto includono:

- l'obbligo di certificazione energetica anche per gli edifici esistenti soggetti a compravendita;
- nuovi limiti prestazionali e prescrittivi;
- l'obbligo di integrare fonti rinnovabili nella produzione di energia termica ed elettrica;

- modelli aggiornati per la redazione della relazione tecnica e dei rapporti di controllo degli impianti.

Sia il D.Lgs. n. 192/2005 sia il D.Lgs. n. 311/2006 puntano a ridurre il consumo energetico destinato al riscaldamento, introducendo modifiche nelle informazioni richieste nella relazione tecnica, come l'inserimento della superficie utile e la rimozione della massa efficace dell'involucro e della classe di permeabilità dei serramenti.

Il Capitolo 1 del testo è dedicato a un'analisi sistematica della normativa vigente in materia di risparmio energetico, con un'ampia panoramica sui principali decreti e norme tecniche di riferimento. In particolare, vengono approfonditi il D.Lgs. n. 192/2005, il D.Lgs. n. 311/2006, il D.Lgs. n. 63/2013, il D.Lgs. n. 102/2014, il Decreto Requisiti Minimi 26 giugno 2015, il nuovo Decreto Requisiti Minimi 28 ottobre 2025, nonché le principali norme tecniche UNI/TS 11300, UNI 103491, UNI 103492, UNI 103493, UNI EN ISO 13788 e UNI EN ISO 10211, fornendo al lettore un quadro organico e aggiornato delle fonti normative da applicare in sede di progettazione e certificazione.

Il Capitolo 2 riporta il testo del **Decreto Requisiti Minimi 2025** (D.M. 26 giugno 2015 coordinato con le modifiche introdotte dal D.M. 28 ottobre 2025).

Il Capitolo 3 è invece dedicato a un'analisi approfondita e dettagliata delle nuove metodologie di calcolo introdotte dal D.M. 28 ottobre 2025.

I Capitoli 4, 5 e 6 raccolgono e organizzano le principali normative in materia di risparmio energetico degli edifici, con un'attenzione specifica ai requisiti minimi, alle verifiche di prestazione energetica, alle casistiche di intervento.

L'ultima parte del manuale approfondisce le metodologie di calcolo necessarie per stimare il fabbisogno energetico degli edifici.

Ing. Vincenzo Calvo

ASPETTI LEGISLATIVI E NORMATIVI SUL RISPARMIO ENERGETICO DEGLI EDIFICI

In Italia, il tema del risparmio energetico degli edifici, ha avuto una svolta con la Legge 9 gennaio 1991, n. 10, recante «*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*», che obbligava a verificare l'isolamento delle pareti murarie e delle coperture al fine di limitare le dispersioni di energia.

Il D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192, recante «*Attuazione della direttiva (UE) 2010/844, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, della direttiva 2010/31/UE, sulla prestazione energetica nell'edilizia, e della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*», modifica i metodi di verifica, stabilisce nuovi criteri di valutazione per le trasmittanze degli edifici perimetrali, introduce un nuovo metodo per valutare il rendimento energetico degli edifici e l'integrazione delle fonti rinnovabili, disciplina i criteri generali per la redazione della certificazione energetica.

Il D.Lgs. 29 dicembre 2006, n. 311, recante «*Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*», amplia gli ambiti di intervento, ovvero non tratta solo gli edifici di nuova costruzione ma anche le opere di ristrutturazione degli edifici e degli impianti esistenti.

Ai sensi del D.Lgs. n. 311/2006 gli interventi atti a migliorare le prestazioni energetiche di un edificio o di un impianto rientrano nelle categorie di intervento che possono usufruire di incentivi o sgravi fiscali, presentando l'attestato di certificazione energetica.

Le norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, sono contenute nel D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, recante «*Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10*».

Le norme per l'applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici sono contenute nel Decreto interministeriale 26 giugno 2015, recante «*Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici*».

IL DECRETO REQUISITI MINIMI 2025

2.1. Premessa

Sulla Gazzetta Ufficiale n. 283 del 5 dicembre 2025 è stato pubblicato il D.M. 28 ottobre 2025, che aggiorna il D.M. 26 giugno 2015, relativo all'applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche, nonché alla definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi per gli edifici.

Sono stati integralmente sostituiti l'Allegato 1, riguardante i criteri generali e i requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici, e l'Allegato 2, contenente le norme tecniche di riferimento per il calcolo della prestazione energetica.

Tra le principali novità spiccano: l'inserimento dei ponti termici nel modello dell'edificio di riferimento, al fine di migliorare le verifiche sia sugli edifici nuovi sia su quelli esistenti; l'aggiornamento delle norme tecniche di riferimento per il calcolo energetico, con l'introduzione degli standard UNI/TS 11300-5, UNI/TS 11300-6 e UNI EN 15193, specifico per l'iluminazione; le modifiche alle verifiche di trasmittanza termica; la revisione delle verifiche sul parametro H'_u ; l'introduzione del metodo Carnot per il calcolo dei coefficienti di conversione in energia primaria in presenza di sistemi di cogenerazione, quali il teleriscaldamento; l'obbligo di sistemi di automazione e controllo di classe B negli edifici non residenziali, anche in caso di ristrutturazioni di secondo livello e riqualificazioni energetiche; gli aggiornamenti dei requisiti minimi relativi al benessere ambientale e alla sicurezza, in linea con le nuove normative europee; l'introduzione di prescrizioni per l'integrazione delle infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici, applicabili esclusivamente agli edifici dotati di posti auto.

È stato inoltre introdotto l'obbligo di verifica puntualizzata dei ponti termici.

Il D.M. 28 ottobre 2025 introduce verifiche più rigide sui ponti termici, includendoli nella definizione dell'edificio di riferimento. Il ponte termico è definito come una zona dell'involucro edilizio caratterizzata da dispersioni termiche dovute a discontinuità costruttive, strutturali o geometriche, o a materiali con diverse conduttività termiche, secondo la norma UNI EN ISO 10211.

Questo aggiornamento incide sull'Attestato di Prestazione Energetica (APE), modificando la scala di classificazione, e sulle verifiche Legge 10 attraverso la definizione di un nuovo edificio target.

La Tabella 5-bis dell'Allegato A specifica ora i coefficienti lineici di trasmissione termica per i ponti termici più comuni, che diventano parte integrante del modello di riferimento, con lunghezze corrispondenti all'edificio reale. La trasmittanza termica riportata nelle

D.M. 28 OTTOBRE 2025: ANALISI APPROFONDITA E METODOLOGIE DI CALCOLO

Il nuovo D.M. 28 ottobre 2025 per il calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili si riconduce alle norme UNI/TS 11300 – Parte 5, queste norme sono state elaborate per stabilire un metodo di calcolo standardizzato nella valutazione delle performance energetiche degli edifici. Queste dipendono dall'interazione tra struttura edilizia e impianti, dalle proprietà termiche dell'involucro opaco e trasparente, nonché dall'efficienza dei sistemi impiantistici installati. Conoscere il valore dell'energia primaria e la percentuale di energia generata da fonti rinnovabili risulta essenziale per determinare l'indice di prestazione energetica, requisito fondamentale per il rilascio della certificazione energetica.

La prestazione energetica si esprime in termini di energia primaria non rinnovabile, rinnovabile o totale (come somma delle due), e rappresenta un elemento obbligatorio che include l'Attestato di Prestazione Energetica (APE).

Per edificio si intende il complesso costituito dal fabbricato e dai sistemi tecnici presenti nelle sue pertinenze, destinati a coprire i fabbisogni energetici oggetto di analisi.

Il confine del sistema o *system boundary* individua l'area che comprende il fabbricato, o la parte di fabbricato considerata, insieme ai sistemi tecnici che lo servono e che sono collocati al suo interno, su di esso e/o nelle relative pertinenze.

Il confine di valutazione o *assessment boundary* è invece il perimetro rispetto al quale si determinano e si contabilizzano le quantità di energia fornite (*delivered*) ed eventualmente cedute verso l'esterno (*exported*).

I requisiti energetici dell'edificio possono essere coperti mediante:

- energia generata da fonti rinnovabili direttamente sul posto, tramite dispositivi di conversione posizionati all'interno dei confini del sistema;
- energia fornita dall'esterno attraverso i confini del sistema, proveniente da vettori energetici di origine sia rinnovabile sia fossile.

Tra le fonti rinnovabili locali spiccano:

- l'energia solare, raccolta all'interno dei confini tramite collettori termici e/o moduli fotovoltaici;
- l'energia termica (aerotermica, geotermica o idrotermica) presente nell'aria, nel suolo e nelle acque superficiali o di falda site nei limiti del sistema.

Da queste fonti si ricava energia termica ed elettrica, che oltrepassano i confini di analisi sotto forma di energia utile.

LE NORME UNI 10349-1

La UNI 10349-1 serve a fornire, per tutto il territorio italiano, i dati climatici "convenzionali" da usare nei calcoli energetici degli edifici. È una norma di base per chi progetta o verifica le prestazioni energetiche secondo UNI/TS 11300 e affini. La norma mette a disposizione medie mensili di temperatura, irradianza solare e altri parametri climatici rappresentativi delle condizioni medie. Questi dati servono per valutare le prestazioni termo-energetiche e termoigrometriche dell'edificio in condizioni standard, sia in inverno che in estate. Contiene i dati climatici convenzionali (medie mensili, anni tipo) per le province italiane e i metodi per ripartire l'irradianza solare in componente diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza su superfici inclinate. Questi contenuti permettono di eseguire calcoli coerenti e confrontabili tra diversi edifici e software.

In pratica serve a calcolare i fabbisogni di energia per riscaldamento e raffrescamento di edifici secondo le norme prestazionali (es. UNI/TS 11300) e a progettazione e verificare le prestazioni energetiche e termoigrometriche dell'edificio e dei relativi impianti di climatizzazione. In sostanza, definisce il "clima di riferimento" su cui basare tutti i calcoli energetici standard in Italia.

Nella edizione precedente di questa norma (1994), i dati climatici erano stati rilevati dalle stazioni meteorologiche degli aeroporti gestite dall'Aeronautica Militare e interpolati per i capoluoghi di provincia, con un approccio che poteva introdurre approssimazioni dovute alla distanza dalle aree urbane o montane.

I nuovi dati, invece, provengono dalle agenzie regionali per la protezione ambientale (ARPA o APPA per la Provincia di Trento) e rappresentano il valore medio della temperatura per ciascun mese "più caratteristico" degli ultimi anni, calcolato secondo la norma UNI EN ISO 15297. Questa norma definisce metodologie standard per la costruzione di "anni climatici tipo" (o "*test reference years*", TRY), selezionando sequenze orarie di temperatura, radiazione solare e umidità che riflettono fedelmente le condizioni statistiche tipiche di un sito, basate su dati storici pluriennali (solitamente 10-30 anni).

Sul sito del Comitato Termotecnico Italiano sono disponibili anche i dati orari dettagliati dell'"anno climatico tipo", utili per simulazioni energetiche avanzate in ambito edilizio e impiantistico, come richiesto dalle normative sul contenimento dei consumi (es. NZEB).

Per le località non comprese nelle tabelle dei dati climatici ufficiali, è possibile stimare una temperatura corretta che tenga conto della diversa localizzazione e altitudine rispetto alla stazione di rilevazione di riferimento. Questo approccio, previsto dalle normative

LE NORME UNI EN ISO 13788

La norma UNI EN ISO 13788 definisce metodi di calcolo semplificati per valutare le prestazioni igrotermiche dei componenti e elementi edilizi, focalizzandosi su:

- temperatura superficiale interna;
- rischio di condensa;
- umidità critica.

La norma UNI EN ISO 13788 è la versione italiana ufficiale della EN ISO 13788 del 2012, entrata in vigore il 20 giugno 2013. La norma serve a prevenire la crescita di muffe sulle superfici interne degli edifici, determinando la temperatura superficiale minima al di sotto della quale tale rischio aumenta, in base a temperatura e umidità relativa interne. Inoltre, valuta il rischio di condensazione interstiziale dovuta alla diffusione del vapore acqueo attraverso le strutture, ignorando fenomeni come variazioni igroscopiche, risalita capillare o permeabilità all'aria.

Nel contesto normativo italiano, come il D.P.R. n. 59/2009, impone la verifica dell'assenza di condensa superficiale in condizioni standard (20°C e 65% *UR* interna), essenziale per certificazioni energetiche e progettazione di involucri edilizi. Si applica a strutture leggere e poco permeabili, fornendo calcoli per il tempo di asciugatura di strati bagnati tra barriera al vapore ($Sd > 100\text{ m}$).

I calcoli sono monodimensionali e semplificati, non adatti a elementi complessi come finestre (dove si usano metodi bi/tridimensionali EN ISO 10077-2), e richiedono dati climatici come medie minime esterne. Per condensa superficiale su telai, considera flussi termici multidimensionali per evitare corrosione o danni.

5.1. Condensazione Interstiziale

Si calcola la distribuzione della pressione di vapore attraverso la struttura, confrontandola con la pressione di saturazione per identificare punti di condensa.

La pressione di vapore $P_{vap,n}$ in un nodo è data da:

$$P_{vap,n} = P_{vap,e} + (R_{v,n} / R_{v,tot}) \cdot (P_{vap,i} - P_{vap,e})$$

dove:

- $P_{vap,i}$ e $P_{vap,e}$ sono le pressioni interne ed esterne;

LE NORME UNI EN ISO 10211

Le norme UNI EN ISO 10211 definiscono le specifiche per i modelli geometrici tridimensionali (3D) e bidimensionali (2D) dei ponti termici negli edifici, utilizzati per calcoli numerici di flussi termici e temperature superficiali minime. Lo scopo principale di questa norma è quello di calcolare le dispersioni termiche totali di un edificio o sue parti e a valutare il rischio di condensazione superficiale, specificando limiti geometrici, suddivisioni del modello, condizioni al contorno e valori termici associati. Si basa su presupposti come proprietà fisiche indipendenti dalla temperatura e assenza di sorgenti di calore interne.

L'ultima versione delle norme UNI EN ISO 10211 è entrata in vigore il 1 marzo 2018 e include dettagli su modelli 3D/2D per analisi FEM (elementi finiti). Esiste anche l'appendice nazionale UNI EN ISO 10211:2018/NA:2025, in vigore dal 23 settembre 2025, che definisce metodi, dati di input e riferimenti nazionali. Viene usata per determinare trasmittanze termiche lineari/puntuali e fattori di temperatura superficiale, con prescrizioni su dimensioni minime (es. $d_{min} \geq 1$ m) e modellizzazione di elementi centrali/laterali, inclusi terreni se necessari. È conforme a contesti italiani per efficienza energetica e regolamenti edilizi.

Le norme UNI EN ISO 10211 del 2008 e del 2018 condividono lo scopo principale di definire modelli geometrici 3D e 2D per calcoli numerici di flussi termici e temperature superficiali nei ponti termici, ma la versione 2018 introduce revisioni tecniche e editoriali rispetto alla precedente.

La seconda edizione (2018) sostituisce quella del 2007/2008 con modifiche prevalentemente editoriali, riscritta secondo CEN/TS 16629 del 2014 per maggiore chiarezza e compatibilità con il recast EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*). La numerazione dei capitoli e allegati è cambiata, eliminando corrispondenze dirette come il punto 5 della versione 2008, che riguardava metodi di calcolo alternativi (es. atlanti o manuali).

La 2018 enfatizza calcoli numerici agli elementi finiti (FEM) con incertezza $\pm 5\%$, mentre integra meglio riferimenti a UNI EN ISO 14683 per atlanti ($\pm 20\%$ incertezza), rendendola conforme a normative aggiornate su efficienza energetica. La versione 2008 è stata ritirata il 1 marzo 2018, data di entrata in vigore della 2018.

6.1. Variazioni nelle condizioni al contorno tra le due edizioni

Le condizioni al contorno nelle norme UNI EN ISO 10211 (edizioni 2008 e 2018) definiscono i parametri termici esterni al modello geometrico, come temperature esterne/

TRASMISSIONE DEL CALORE

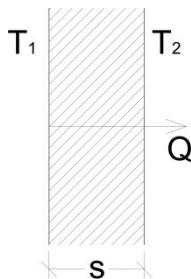
Il calore si trasmette da un corpo più caldo a uno più freddo fino al raggiungimento dell'equilibrio termico e si propaga per conduzione, convezione e irraggiamento.

7.1. Conduzione

Si definisce trasmissione di calore per conduzione lo scambio termico che si ha tra due corpi solidi a contatto aventi temperature differenti. Nella zona di contatto, le particelle del corpo più caldo aventi un'energia cinetica più elevata trasferiscono, alle particelle del corpo più freddo, parte dell'energia cinetica, ciò determina un innalzamento della temperatura nel corpo più freddo e un abbassamento di temperatura nel corpo più caldo. La capacità di trasferire calore per conduzione dipende dalla natura del materiale ed in particolare dalla conducibilità termica dello stesso.

I materiali conduttori di calore sono quelli che hanno un'elevata conducibilità termica, mentre i materiali con bassa conducibilità termica sono detti isolanti.

Consideriamo un parete, omogenea¹ e isotropa², di spessore s , sottoposta a una differenza di temperatura, per cui le superfici della parete hanno temperatura T_1 e T_2 , dove $T_1 > T_2$.



Sotto queste ipotesi la *potenza termica scambiata per conduzione*, secondo il postulato di Fourier, si può scrivere con la seguente espressione:

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{s}$$

¹ Un corpo si definisce *omogeneo* se le sue caratteristiche chimiche sono costanti in tutti i suoi punti.

² Un corpo si definisce *isotropo* se il suo comportamento non dipende dalla direzione considerata.

FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA DI UN EDIFICO E VERIFICA DEL COEFFICIENTE VOLUMICO DI DISPERSIONE (C_D)

Il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, è l'energia richiesta per mantenere gli ambienti riscaldati alla temperatura di progetto (20°C), calcolata per ogni zona dell'edificio e per ogni mese, pertanto:

$$Q_{uscente} = Q_{impianto}$$

Il carico termico uscente è dato dalla somma del carico termico di trasmissione di tutti gli elementi disperdenti e dei ponti termici e del carico termico di ventilazione, ovvero:

$$Q_{uscente} = \underbrace{\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \cdot \Delta T_i}_{\text{carico_termico_per_trasmissione_} Q_{tr}} + \underbrace{\sum_{j=1}^n \psi_j \cdot L_j \cdot \Delta T_j}_{\text{carico_termico_di_ventilazione}} + \underbrace{\sum_k n_k \cdot V_k \cdot \rho_a c_{pa} \cdot (t_{i,k} - t_e)}_{\text{carico_termico_di_ventilazione}}$$

dove:

- U_i = trasmittanza termica del generico elemento;
- A_i = area del generico elemento;
- ΔT_i = differenza di temperatura per il generico elemento;
- ψ_j = trasmittanza termica lineica del generico ponte termico;
- L_j = lunghezza del generico ponte termico;
- ΔT_j = differenza di temperatura per il generico ponte termico;
- n_k = numero di ricambi orario del generico ambiente;
- V_k = volume interno del generico ambiente;
- $\rho_a c_a$ = capacità termica volumica dell'aria ($\rho_a c_a = 1200 \text{ J/m}^3\text{K}$);
- $t_{i,k}$ = temperatura interna del generico ambiente;
- t_e = temperatura esterna di progetto.

Il carico termico globale per trasmissione, Q_{tr} , si ottiene sommando i carichi termici trasmessi verso l'ambiente esterno, gli ambienti non riscaldati, il terreno, attraverso le superfici trasparenti e i ponti termici:

$$Q_{tr} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

VERIFICA TERMO-IGROMETRICA DELLE PARETI

Negli ambienti, quando la temperatura della superficie interna della parete scende sotto la temperatura di rugiada¹ si verifica la condensazione superficiale, con deposito di acqua sulle pareti. Per evitarla, la temperatura interna delle pareti deve essere sempre superiore a quella di rugiada, ricavabile dal diagramma psicrometrico (Fig. 9.1).

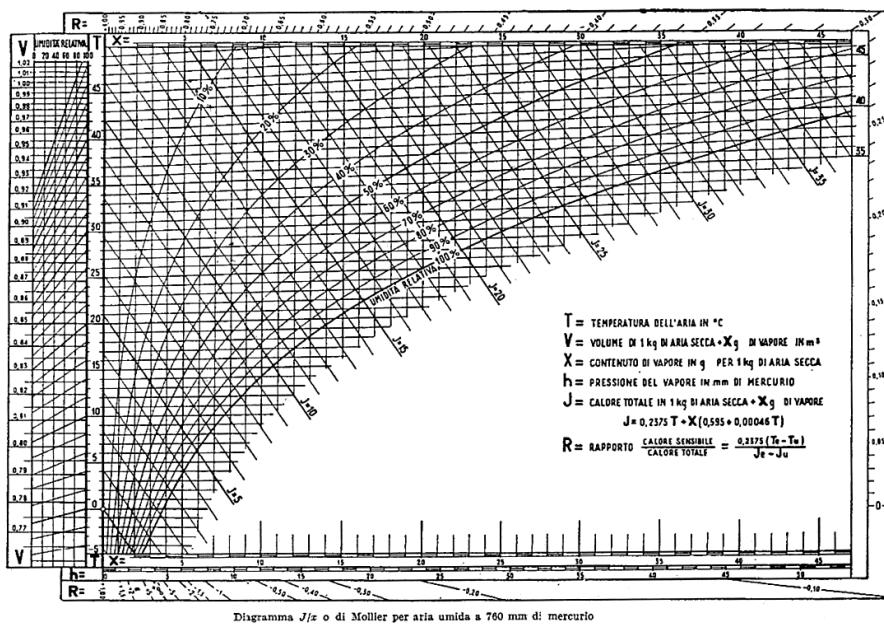


Figura 9.1. Diagramma di Mollier per l'aria umida

9.1. Temperatura superficiale

Sotto l'ipotesi di flusso termico stazionario, si può determinare il valore della temperatura superficiale di una parete uguagliando il flusso termico attraverso la parete con quello adduttivo sulla superficie interna della stessa.

¹ La temperatura di rugiada è la temperatura alla quale, a pressione costante, l'aria diventa satura di vapore acqueo.

RENDIMENTO GLOBALE MEDIO STAGIONALE

Il fabbisogno globale di energia primaria è dato dall'espressione di seguito riportata (UNI/TS 11300-2):

$$Q_{p,H} = \sum Q_{H,c,i} \cdot f_{p,i} + \sum Q_{W,c,j} \cdot f_{p,j} + (Q_{H,aux} + Q_{W,aux} + Q_{INT,aux} - Q_{el,exp}) \cdot f_{p,el}$$

dove:

- $Q_{H,c,i}$ = fabbisogno di energia per riscaldamento ottenuto da ciascun vettore energetico (combustibili, energia elettrica, ecc.);
- $f_{p,i}$ = fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico;
- $Q_{W,c,j}$ = fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria ottenuto da ciascun vettore energetico j energetico (combustibili, energia elettrica, ecc.);
- $Q_{H,aux}$ = fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di riscaldamento;
- $Q_{W,aux}$ = fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di produzione di acqua calda sanitaria;
- $Q_{INT,aux}$ = fabbisogno di energia elettrica per ausiliari di eventuali sistemi che utilizzano energie rinnovabili e di cogenerazione;
- $f_{p,el}$ = fattore di conversione in energia primaria dell'energia ausiliaria elettrica.

Il rendimento medio stagionale può riguardare:

- il solo impianto di riscaldamento;
- il solo impianto di acqua calda sanitaria;
- l'impianto di riscaldamento e acqua calda sanitaria.

10.1. Rendimento medio stagionale dell'impianto di riscaldamento

Il rendimento medio stagionale dell'impianto di riscaldamento, $\eta_{g,H}$, è il rapporto tra fabbisogno di energia termica utile e il corrispondente fabbisogno di energia primaria durante la stagione di riscaldamento:

$$\eta_{g,H} = \frac{Q_h}{Q_{p,H}}$$

dove:

ZONE CLIMATICHE E GRADI GIORNO

11.1. Zone climatiche

Le *zone climatiche* hanno temperature medie simili e sono state definite per stabilire la durata di attivazione giornaliera ed i periodi di accensione degli impianti termici al fine di contenere i consumi di energia.

Il territorio nazionale è suddiviso in sei zone climatiche in funzione dei gradi-giorno, indipendentemente dalla ubicazione geografica:

- *Zona A*: comuni che presentano un numero di gradi-giorno non superiore a 600;
- *Zona B*: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 600 e non superiore a 900;
- *Zona C*: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 900 e non superiore a 1.400;
- *Zona D*: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 1.400 e non superiore a 2.100;
- *Zona E*: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000;
- *Zona F*: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 3.000.

11.2. Gradi Giorno

I gradi giorno (*GG*) rappresentano l'unità di misura che indica il fabbisogno termico per il riscaldamento delle abitazioni in funzione della località.

Un valore di *GG* basso indica che le temperature esterne sono vicine alla temperatura di progetto (20°C) per l'ambiente riscaldato e quindi non è necessario un riscaldamento intenso e prolungato per equilibrare la differenza; al contrario un valore di *GG* elevato indica che le temperature giornaliere si scostano molto dalla temperatura di progetto e ciò comporta un maggiore riscaldamento.

L'Allegato A del D.P.R. 412/93 ordinata per regioni e province, riporta per ciascun Comune: l'altitudine della casa comunale, i gradi-giorno e la zona climatica di appartenenza. Detta tabella può essere modificata ed integrata, con decreto del Ministro dell'Industria del Commercio e dell'Artigianato, anche in relazione all'istituzione di nuovi comuni o alle modificazioni dei territori comunali, avvalendosi delle competenze tecniche dell'ENEA ed in conformità ad eventuali metodologie che verranno fissate dall'UNI.

CLASSIFICAZIONE GENERALE DEGLI EDIFICI PER CATEGORIE

Gli edifici sono classificati in base alla loro destinazione d'uso nelle seguenti categorie (D.P.R. n. 412/1993):

- 1) E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili:
 - 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;
- 2) E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili: 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;
- 3) E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili 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;
- 4) E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto e assimilabili:
 - E.4 (1) quali cinema e teatri, sale di riunioni per congressi;
 - E.4 (2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto;
 - E.4 (3) quali bar, ristoranti, sale da ballo;
- 5) E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni;
- 6) E.6 Edifici adibiti ad attività sportive:
 - E.6 (1) piscine, saune e assimilabili;
 - E.6 (2) palestre e assimilabili;
 - E.6 (3) servizi di supporto alle attività sportive;
- 7) E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;
- 8) E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili.

Qualora un edificio sia costituito da parti individuali come appartenenti a categorie diverse, le stesse devono essere considerate separatamente e cioè ciascuna nella categoria che le compete.

VALORI MASSIMI DELLA TEMPERATURA AMBIENTE

13.1. Temperatura interna di progetto per impianti di climatizzazione invernale

Durante il periodo in cui è in funzione l'impianto di climatizzazione invernale, si assume, per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie E.6 (1), E.6 (2) e E.8, una temperatura interna pari a 20°C (UNI/TS 11300). Per gli edifici di categoria E.6 (1) si assume una temperatura interna costante pari a 28°C. Per gli edifici di categoria E.6 (2) e E.8 si assume una temperatura interna costante pari a 18°C.

Per gli edifici confinanti, in condizioni standard di calcolo, si assume:

- temperatura pari a 20°C per edifici confinanti riscaldati e appartamenti vicini normalmente abitati;
- temperatura conforme alla UNI EN 12831 per appartamenti confinanti in edifici che non sono normalmente abitati (per esempio case vacanze);
- temperatura conforme all'Appendice A della UNI EN ISO 13789:2008, per edifici o ambienti confinanti non riscaldati (magazzini, autorimesse, cantinati, vano scale, ecc.).

La *temperatura media mensile* dei locali non riscaldati può essere determinata dalla seguente formula:

$$\theta_u = \frac{\Phi_{gn} + \theta_i \cdot H_{iu} + \theta_e \cdot H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

dove:

- Φ_{gn} = flusso termico generato all'interno dell'ambiente non riscaldato, in W;
- θ_i = temperatura interna di progetto dell'ambiente riscaldato, in °C;
- H_{iu} = coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente riscaldato e l'ambiente non riscaldato, in W/K;
- θ_e = temperatura esterna media mensile, in °C;
- H_{ue} = coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente riscaldato e l'ambiente esterno, in W/K.

Durante il periodo in cui è in funzione l'impianto di climatizzazione invernale, la media aritmetica delle temperature dell'aria nei diversi ambienti di ogni singola unità immobiliare, definite e misurate come indicato al comma 1, lettera w), dell'art. 1 del D.P.R. n. 412/1993, non deve superare i seguenti valori con le tolleranze a fianco indicate:

LIMITI DI ESERCIZIO DEGLI IMPIANTI

Gli impianti termici destinati alla climatizzazione invernale degli ambienti devono essere condotti in modo che, durante il loro funzionamento, non vengano superati i valori massimi di temperatura fissati dall'art. 4 del D.P.R. n. 412/1993 (v. Capitolo 8).

L'esercizio degli impianti termici è consentito con i seguenti limiti massimi relativi al periodo annuale di esercizio dell'impianto termico ed alla durata giornaliera di attivazione:

- Zona A: ore 6 giornaliere dal 1° dicembre al 15 marzo;
- Zona B: ore 8 giornaliere dal 1° dicembre al 31 marzo;
- Zona C: ore 10 giornaliere dal 15 novembre al 31 marzo;
- Zona D: ore 12 giornaliere dal 1° novembre al 15 aprile;
- Zona E: ore 14 giornaliere dal 15 ottobre al 15 aprile;
- Zona F: nessuna limitazione.

Al di fuori di tali periodi gli impianti termici possono essere attivati solo in presenza di situazioni climatiche che ne giustifichino l'esercizio e comunque con una durata giornaliera non superiore alla metà di quella consentita a pieno regime.

È consentito il frazionamento dell'orario giornaliero di riscaldamento in due o più sezioni. La durata di attivazione degli impianti non ubicati nella zona F deve essere comunque compresa tra le ore 5 e le ore 23 di ciascun giorno.

Le disposizioni di cui ai commi 2 e 4, relative alla limitazione del periodo annuale di esercizio ed alla durata giornaliera di attivazione non si applicano:

- a) agli edifici rientranti nella categoria E.3;
- b) alle sedi delle rappresentanze diplomatiche e di organizzazioni internazionali, che non siano ubicate in stabili condominiali;
- c) agli edifici rientranti nella categoria E.7, solo se adibiti a scuole materne e asili nido;
- d) agli edifici rientranti nella categoria E.1, adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili;
- e) agli edifici rientranti nella categoria E.6, adibiti a piscine saune e assimilabili;
- f) agli edifici rientranti nella categoria E.8, nei casi in cui ostino esigenze tecnologiche o di produzione.

Le disposizioni di cui ai commi 2 e 4 non si applicano, limitatamente alla sola durata giornaliera di attivazione degli impianti termici per il riscaldamento degli edifici, nei seguenti casi:

APE E NUOVE METODOLOGIE DI CALCOLO

L'Attestato di Prestazione Energetica (APE) rappresenta lo strumento normativo fondamentale per la valutazione dell'efficienza energetica degli edifici in Italia, sia per quelli di nuova costruzione sia per quelli esistenti oggetto di ristrutturazione o destinati alla vendita o locazione. L'APE non è semplicemente un documento burocratico, ma un vero e proprio strumento tecnico che consente di quantificare in modo oggettivo e confrontabile la prestazione energetica di un edificio, esprimendola attraverso un indicatore sintetico: la classe energetica, che va da A4 (massima efficienza) a G (minima efficienza).

La classe energetica è un'etichetta che sintetizza in modo immediato la qualità energetica dell'edificio, rendendo possibile il confronto tra immobili diversi e fornendo un'informazione chiara agli acquirenti, ai locatari e ai progettisti. Essa non dipende solo dalle caratteristiche dell'involucro (trasmissione, ponti termici, ombreggiamenti), ma anche dall'efficienza degli impianti (riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione, illuminazione e trasporto) e dall'utilizzo dell'energia rinnovabile.

Negli ultimi anni, il quadro normativo nazionale ed europeo ha introdotto importanti novità che hanno reso il calcolo dell'APE più rigoroso, omogeneo e allineato agli obiettivi di decarbonizzazione. Le nuove metodologie di calcolo sono definite dalle Linee Guida nazionali per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici, approvate con Decreto del Ministero della Transizione Ecologica, e dal recepimento della Direttiva EPBD IV (EPBD Recast), che impone un approccio più strutturato e standardizzato.

In particolare, il nuovo APE si basa su un modello di riferimento standardizzato, ovvero un edificio di riferimento con le stesse caratteristiche geometriche e di uso dell'edificio reale, ma dotato di tecnologie e prestazioni minime previste dalla normativa (Requisiti minimi 2019/2021). Questo modello di riferimento consente di definire un valore di riferimento *EPgl,nren,rif,standard*, che diventa il punto di confronto per la scala delle classi energetiche.

La scala di classificazione è stata resa più stringente, con la classe A4 riservata agli edifici con prestazioni molto elevate e la classe G assegnata a quelli con prestazioni scadenti. Questo approccio più rigoroso mira a spingere verso standard costruttivi e impiantistici più elevati, favorendo la transizione verso edifici a emissioni quasi zero (nZEB) e la diffusione delle fonti rinnovabili inoltre, il nuovo APE introduce una maggiore trasparenza e dettaglio, richiedendo l'indicazione della percentuale di energia rinnovabile prodotta in loco (ad esempio tramite impianti fotovoltaici o solari termici) e, per edifici di grandi di-

