AI Generated Image



COMFORT, EFFICIENZA E SOSTENIBILITÀ

NELL'IMPIANTISTICA RESIDENZIALE

ATTI DEL CONVEGNO - Mercoledì 08 Luglio 2026

Assform Editore

Sezione Energetica

Prog,res - Progetto e Restauro.Il portale web sulla cultura dell'architettura e dell'ingegneria.

Comfort, efficienza e sostenibilità nell'impiantistica residenziale.

© Tutti i diritti riservati per i testi e le immagini. Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta senza preventivo assenso degli autori.
Pubblicato su: www.prog-res.it (sezione Frames)

Editore: Assform Editore
Corso Giovanni XXIII, 131 - 47921 Rimini (RN)

DOI 10.82054/12343

Novembre 2026

Progetto grafico: Mario Paolo Semprini, Chiara Andreani

Evento realizzato da: Associazione Assform

Patrocini:
Ordine dei Periti industriali di Forlì - Cesena
Federazione Ordine dei Dott. Agronomi e dei Dott. Forestali Emilia Romagna
Collegio Nazionale Agrotecnici e Agrotecnici Laureati
Collegio Provinciale dei Geometri e Geometri Laureati di Forlì - Cesena

Comfort, efficienza e sostenibilità nell'impiantistica residenziale

a cura di

Mario Paolo Semprini e Emanuele Barogi

Assform Editore

Sommario

Pagina 09 *Emanuele Barogi,* Introduzione tematica

11 *Ginevra Li Castri,* Riduzione del fabbisogno energetico, Isolamento Termico, Controllo dell'Inerzia e Sfasamento Termico, Ponti Termici e Tenuta all'Aria

21 *Giovanni Semprini,* Progettare la ventilazione meccanica: integrazione tra impianti aeraulici, architettura, comfort, energia e qualità dell'aria interna

25 *Fabio Fantozzi,* Riscaldamento, raffrescamento e ACS: tecnologie sostenibili e transizione energetica

29 *Laurent Roberto Socal ed Emanuele Barogi,* Impiantistica e transizione ecologica: l'evoluzione del quadro normativo legislativo nazionale e regionale (Regione Emilia-Romagna)

39 *Gianmario Favero,* L'evoluzione tecnologica delle apparecchiature nel settore impiantistico

47 *Gianluigi Durastante,* Smart Home: l'impatto del controllo domotico sul comfort e l'efficienza degli impianti

55 *Andrea Valentini,* Certificazione Ambientale: Le regole del gioco e la valorizzazione degli immobili

Introduzione tematica

Emanuele Barogi

La nuova progettazione energetica degli edifici

La progettazione energetica degli edifici sta vivendo una profonda evoluzione. Negli ultimi anni il quadro normativo europeo, nazionale e regionale ha progressivamente superato un approccio basato sul semplice rispetto di requisiti prestazionali minimi, orientandosi verso una progettazione integrata nella quale involucro edilizio, impianti tecnologici e fonti energetiche rinnovabili costituiscono un unico sistema finalizzato a ridurre i consumi, migliorare il comfort abitativo e contenere l'impatto ambientale.

In questo nuovo scenario il progettista non è chiamato esclusivamente a verificare il rispetto di valori limite, ma a comprendere il comportamento energetico dell'edificio nella sua globalità. La corretta valutazione delle dispersioni termiche, dei ponti termici, dell'efficienza impiantistica e dell'integrazione delle fonti rinnovabili diventa parte di un processo progettuale unitario, nel quale ogni scelta tecnica influenza le prestazioni complessive dell'opera.

L'evoluzione della normativa ha inoltre introdotto criteri di calcolo sempre più aderenti al comportamento reale degli edifici, richiedendo una maggiore attenzione nella classificazione degli interventi, nella definizione delle superfici di riferimento e nell'applicazione delle verifiche previste per nuove costruzioni, ampliamenti, ristrutturazioni importanti e riqualificazioni energetiche. Ciò rende fondamentale una corretta interpretazione delle disposizioni legislative, evitando applicazioni automatiche che potrebbero condurre a risultati non coerenti con le finalità della norma.

L'obiettivo della moderna progettazione energetica non è quindi soltanto conseguire la conformità legislativa, ma realizzare edifici capaci di garantire nel tempo efficienza, comfort, durabilità e sostenibilità. La qualità del progetto nasce infatti dall'equilibrio tra rigore tecnico, corretta interpretazione normativa e capacità di integrare soluzioni tecnologiche innovative, offrendo al committente edifici sempre più performanti e orientati agli obiettivi della transizione energetica.

Riduzione del fabbisogno energetico, Isolamento Termico, Controllo dell’Inerzia e Sfasamento Termico, Ponti Termici e Tenuta all’Aria

Ginevra Li Castri

Il contributo propone una lettura operativa dell’involucro opaco come primo dispositivo di controllo del fabbisogno energetico dell’edificio. Il percorso muove dalle proprietà termo-fisiche del materiale, attraversa la prestazione del componente in regime stazionario e dinamico, si confronta con i due nodi che nel recupero dell’esistente determinano il divario tra prestazione attesa e prestazione reale, i ponti termici e la tenuta all’aria, e si chiude sul comportamento dei materiali avanzati, dai pannelli sottovuoto ai rivestimenti a base di aerogel. Ne emerge che il valore di trasmittanza, pur necessario, sia un indicatore parziale: la prestazione che conta è quella del sistema involucro-impianto-controllo in condizioni reali di esercizio, ed è su quella scala che vanno misurate le scelte di progetto e valutati gli incentivi.

Perché partire dall’involucro

Il fabbisogno energetico di un edificio deriva dall’interazione tra clima esterno, caratteristiche costruttive, modalità d’uso e sistema impiantistico. In questo equilibrio l’involucro è il primo elemento di mediazione tra ambiente esterno e interno: condiziona l’entità e l’andamento temporale degli scambi, e quindi sia il comfort percepito sia i carichi che l’impianto deve coprire. Pareti, coperture, solai contro terra o su ambienti non riscaldati e serramenti possono limitare le dispersioni, modulare gli apporti solari, accumulare e rilasciare energia, attenuare i picchi e contribuire al controllo termoigrometrico. All’impianto resta il compito di compensare i carichi residui.

La gerarchia è la stessa che orienta qualunque diagnosi energetica: prima si riduce la domanda, poi la si copre in modo efficiente, infine si governa il sistema nel tempo. Invertire l’ordine, sostituire il generatore lasciando invariato l’involucro, produce impianti sovradimensionati, rendimenti stagionali inferiori a quelli nominali e un comfort che resta disomogeneo. È una circostanza tutt’altro che teorica nella diffusione delle pompe di calore, la cui convenienza dipende dalla possibilità di lavorare a bassa temperatura di mandata, il che presuppone un involucro capace di contenere la potenza richiesta in condizioni di progetto.

Il tema è particolarmente rilevante in Italia. Il parco immobiliare residenziale è costituito da circa 12,4 milioni di edifici, di cui oltre il 60% costruito prima del 1976, anno di entrata in vigore della prima legge nazionale sul contenimento dei consumi energetici negli edifici [1,2]. Nel 2024 sono stati rilasciati 16 mila permessi di costruire per nuovi fabbricati residenziali, corrispondenti a 55,2 mila abitazioni autorizzate, a fronte di 35,8 mila permessi per interventi su edifici esistenti [3]: il flusso di nuova costruzione è quindi marginale rispetto alla consistenza dello stock esistente, e i titoli abilitativi si concentrano ormai in maggioranza sul costruito. La transizione energetica del settore dipende in larga misura dalla qualità degli interventi di riqualificazione, non dalle prestazioni del nuovo. Nello stesso senso si muove il quadro normativo: il decreto ministeriale 28 ottobre 2025, in vigore dal 3 giugno 2026, aggiorna il decreto 26 giugno 2015 sulle metodologie di calcolo e sui requisiti minimi, intervenendo anche sulle verifiche di involucro [4].

L’involucro si distingue in componenti opachi e trasparenti. I primi possono disporre di una massa termica significativa e partecipare all’accumulo e al rilascio di energia; i secondi hanno generalmente una capacità di accumulo più limitata e sono soprattutto chiamati a governare trasmissione termica, luce naturale e apporti solari, con la possibilità di essere controllati dinamicamente mediante schermature. Nel seguito l’attenzione è concentrata sull’involucro opaco, mantenendo tuttavia una lettura integrata del sistema edificio-impianto; la componente trasparente e il suo controllo dinamico, che rispondono a logiche progettuali in parte diverse, sono stati oggetto di lavori specifici cui si rimanda [5,6].

Dal materiale alla prestazione del componente

Il comportamento dell’involucro opaco può essere ricondotto a tre famiglie di fenomeni strettamente connesse: la trasmissione termica, cioè il trasferimento di calore attraverso il componente indotto da differenze di temperatura; l’accumulo termico, ossia la capacità del componente di immagazzinare e successivamente restituire energia in presenza di sollecitazioni variabili nel tempo; il trasporto di vapore acqueo attraverso la stratigrafia. Una valutazione corretta richiede quindi di passare dalla sola resistenza termica a una lettura termo-fisica e igrotermica dell’intero pacchetto. È inoltre essenziale distinguere le proprietà del singolo materia-

le dalla prestazione del componente. La conducibilità termica λ descrive l'attitudine del materiale a condurre calore. Densità ρ e calore specifico c determinano la capacità termica volumica ρ·c, cioè l'energia necessaria per variare di un grado la temperatura di un volume unitario. La diffusività termica α = λ/(ρ·c) esprime, in termini semplificati, la rapidità con cui una perturbazione termica si propaga nel materiale. Materiali con valori simili di λ possono pertanto mostrare risposte dinamiche molto diverse.

Tabella 1. Esempio indicativo di proprietà termo-fisiche di due materiali con conducibilità simile ma diversa capacità termica volumica. I valori possono variare in funzione del prodotto

Materiale	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kg·K)]	ρ·c [J/(m³·K)]	α [m²/s]
Polistirene espanso (EPS)	0,035	20	1.450	29.000	$1{,}2 \times 10^{-6}$
Fibra di legno	0,040	160	2.100	336.000	$1{,}2 \times 10^{-7}$

Fonte: elaborazione dell'autrice su dati di letteratura e schede tecniche di prodotto.

L'esempio riportato in Tabella 1 chiarisce perché una conducibilità simile non implichi lo stesso comportamento dinamico. Nella configurazione considerata, la fibra di legno presenta una capacità termica volumica di oltre un ordine di grandezza superiore a quella dell'EPS e, coerentemente, una diffusività circa dieci volte inferiore. Il confronto non costituisce un giudizio di merito sul materiale: la scelta dipende dalla stratigrafia, dalla massa già disponibile, dal clima, dai vincoli di spessore, dal costo e dagli obiettivi dell'intervento. In un edificio massivo l'effetto della capacità termica dell'isolante può essere secondario rispetto a quello delle strutture; in sistemi leggeri può diventare determinante.

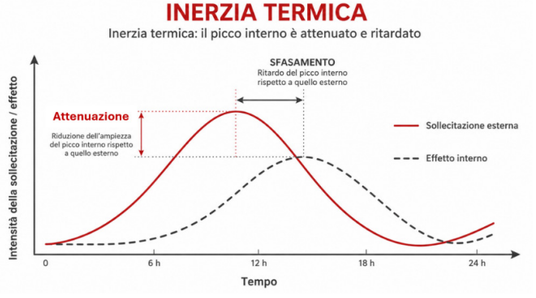
Alla scala del componente, la trasmittanza termica U esprime il flusso termico in regime stazionario per unità di superficie e per unità di differenza di temperatura [7]. È un parametro indispensabile, è il riferimento di ogni verifica normativa e di ogni bilancio semplificato, ma non è sufficiente a descrivere le condizioni reali, nelle quali temperatura esterna, radiazione solare, apporti interni e funzionamento degli impianti variano continuamente. Chi gestisce l'energia di un edificio incontra questo limite ogni volta che una stratigrafia conforme ai requisiti produce, in esercizio, temperature superficiali disomogenee, surriscaldamento estivo o picchi di potenza inattesi.

Inerzia termica e sollecitazioni dinamiche

Quando le condizioni termiche variano nel tempo, la caratterizzazione del componente richiede grandezze capaci di descrivere non solo quanta massa e quanta capacità termica siano disponibili, ma anche come esse partecipino alla risposta della stratigrafia. La massa superficiale Ms esprime la massa del componente riferita all'unità di superficie; la capacità termica areica rappresenta l'energia necessaria per produrre una variazione unitaria di temperatura per unità di superficie. Tali grandezze descrivono il potenziale di accumulo, ma non caratterizzano la propagazione di una sollecitazione periodica.

A questo scopo la UNI EN ISO 13786 [8] introduce grandezze dinamiche quali la trasmittanza termica periodica Yie, le capacità termiche areiche periodiche, il fattore di attenuazione e lo sfasamento temporale. La trasmittanza termica periodica Yie [W/(m²·K)] è il rapporto tra l'ampiezza complessa della densità di flusso termico sulla faccia interna e l'ampiezza complessa dell'oscillazione di temperatura sulla faccia esterna, a temperatura interna costante. Il fattore di attenuazione fa = |Yie|/U è a sua volta un rapporto tra ampiezze, e va letto come tale: un valore di 0,3 indica un'ampiezza ridotta al 30% di quella incidente, non del 30%. Lo sfasamento rappresenta infine il ritardo temporale tra la perturbazione applicata sulla faccia esterna e la risposta su quella interna. Sono i parametri che, nella pratica progettuale, distinguono una copertura leggera che restituisce il picco solare nel primo pomeriggio da una copertura massiva che lo restituisce attenuato e a distanza di ore, quando l'edificio è già in fase di raffreddamento notturno.

Figura 1. Rappresentazione schematica dell'effetto dell'inerzia termica su una sollecitazione periodica: la risposta sul lato interno risulta attenuata e ritardata rispetto alla sollecitazione esterna.



Fonte: elaborazione dell'autrice sulla base delle grandezze dinamiche definite dalla UNI EN ISO 13786 [8].

La prestazione dinamica deriva dall'interazione tra resistenza termica, capacità di accumulo e distribuzione degli strati lungo lo spessore: a parità di U e di massa complessiva, invertire l'ordine degli strati modifica la risposta. Le condizioni al contorno sui due lati del componente sono peraltro differenti. Sul lato esterno agiscono la variazione della temperatura dell'aria, la radiazione solare incidente e gli scambi convettivi e radiativi con l'ambiente circostante. Sul lato interno intervengono, oltre alle condizioni termoigrometriche, gli apporti solari trasmessi dalle superfici vetrate, i carichi dovuti a occupanti, illuminazione e apparecchiature e l'azione dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento.

L'inerzia termica non è pertanto una risposta esclusiva alle oscillazioni climatiche esterne, ma una proprietà che partecipa alla dinamica energetica dell'intero ambiente confinato. La capacità di accumulo delle masse edilizie assume particolare rilevanza nell'interazione con l'impianto: i sistemi radianti, per esempio, scambiano energia con le superfici e attivano l'accumulo nelle strutture, con un contributo particolarmente rilevante della massa più prossima alla superficie interna, indicativamente entro i primi 8–10 cm [9]. L'energia immagazzinata viene poi rilasciata secondo le costanti di tempo del sistema edificio, modificando l'andamento dei carichi e della potenza richiesta. Se la logica di regolazione è coerente con questa dinamica, la massa termica contribuisce sia all'attenuazione dei picchi sia allo spostamento temporale della domanda.

È un punto che merita attenzione perché sposta l'inerzia dal registro del comfort a quello della gestione energetica. Un edificio dotato di massa accessibile e di un controllo capace di anticipare la domanda può concentrare il funzionamento del generatore nelle ore di maggiore disponibilità di energia rinnovabile o di minore costo, riducendo la potenza di picco senza penalizzare le condizioni interne. La flessibilità, in questo senso, non è una prestazione dell'impianto: è una prestazione congiunta dell'involucro e della sua regolazione.

Occorre infine distinguere la risposta dinamica del singolo componente da quella dell'intero edificio. Fattore di attenuazione e sfasamento di una specifica stratigrafia caratterizzano il trasferimento termico attraverso quel componente, ma non coincidono con l'attenuazione o lo spostamento del carico termico complessivo, che dipende dall'interazione tra orientamento e geometria, superfici trasparenti, apporti solari, schermature, ventilazione, distribuzione della massa, carichi interni e logiche di funzionamento degli impianti. I parametri dinamici di componente sono dunque fondamentali per confrontare soluzioni costruttive; la prestazione energetica reale richiede però una valutazione alla scala del sistema edificio-impianto-controllo.*mica e Isolamento dall'esterno e dall'interno*

Ridurre il fabbisogno energetico significa innanzitutto limitare gli scambi termici non necessari attraverso l'involucro, mantenendo condizioni interne compatibili con il comfort. L'isolamento termico è lo strumento principale per intervenire sulla componente trasmissiva dei carichi: aumentando la resistenza termica delle strutture riduce il flusso di calore tra ambiente interno ed esterno e, di conseguenza, la potenza richiesta agli impianti per mantenere le condizioni di progetto.

Il beneficio non si esaurisce tuttavia nella riduzione delle dispersioni invernali. Una corretta progettazione della stratigrafia modifica le temperature superficiali interne, attenua l'influenza delle condizioni climatiche esterne, migliora l'omogeneità del comfort e riduce il rischio di condensazione superficiale. Durante il periodo estivo la prestazione dipende inoltre dall'interazione tra resistenza termica, inerzia della struttura, radiazione solare e modalità di ventilazione e controllo: per questo il valore di trasmittanza, pur fondamentale, non può essere considerato isolatamente.

Negli edifici esistenti la scelta della strategia assume rilevanza ancora maggiore. L'intervento deve confrontarsi con la stratigrafia originaria, la presenza di discontinuità e ponti termici, il comportamento igrotermico della muratura, i vincoli geometrici e architettonici e la quantità di massa termica che rimane direttamente accoppiata all'ambiente interno. Non è quindi sufficiente stabilire quanto isolamento utilizzare: è altrettanto importante definire dove collocarlo all'interno del sistema costruttivo.

Le due strategie principali, isolamento dall'esterno e dall'interno, aumentano entrambe la resistenza termica dell'involucro, ma modificano in modo differente il comportamento della parete, la continuità dello strato isolante e l'interazione tra la massa esistente e l'ambiente climatizzato.

L'isolamento dall'esterno consente in genere di avvolgere il volume climatizzato con maggiore continuità. La muratura rimane sul lato interno dello strato isolante, resta più direttamente accoppiata all'ambiente e continua a contribuire alla capacità termica disponibile. Si riducono le oscillazioni nella struttura e molti ponti termici possono essere corretti con efficacia. L'intervento non sottrae superficie utile, ma può essere incompatibile con facciate storiche o vincolate e richiede un'attenta progettazione di balconi, davanzali, imbotti, gronde e attacchi.

L'isolamento dall'interno è strategico quando il prospetto non può essere modificato o l'intervento riguarda una singola unità immobiliare. È però più delicato: riduce la superficie utile, separa una parte della massa esistente dall'ambiente interno, mantiene la muratura originaria a temperature mediamente più basse e rende più complessa la correzione dei nodi. Richiede quindi un controllo rigoroso della continuità degli strati e del comportamento igrotermico, con particolare attenzione alle interfacce e agli innesti dei solai. In questi casi l'impiego di materiali igroscopici, capaci di attenuare le oscillazioni di umidità relativa dell'aria interna, può contribuire alla robustezza della soluzione [10], purché la verifica igrotermica sia condotta sulla stratigrafia effettiva e non sul dato di catalogo.

Tabella 2. Confronto sintetico tra isolamento dall'esterno e dall'interno. La scelta deve essere verificata sul caso specifico.

Aspetto	Isolamento dall'esterno	Isolamento dall'interno
Ponti termici	Correzione generalmente più continua	Correzione più complessa nei nodi
Massa interna	Muratura inclusa nel volume termicamente attivo	Muratura separata dall'ambiente dal nuovo isolante
Comportamento igrotermico	In genere più favorevole, da verificare nei dettagli	Richiede particolare attenzione a vapore, interfacce e murature esistenti
Vincoli architettonici	Può modificare il prospetto	Adatto quando la facciata non è modificabile
Cantiere e spazio	Intervento esterno, senza perdita di superficie utile	Intervento interno, con riduzione della superficie utile

Fonte: elaborazione dell'autrice.

Non esiste pertanto una soluzione universalmente migliore. La decisione deve derivare dal rilievo dell'edificio, dalla diagnosi dei nodi, dalle caratteristiche della muratura, dalle condizioni climatiche, dall'uso degli ambienti, dai vincoli architettonici e dalla compatibilità tra materiali. Negli edifici storici, in particolare, la gestione dell'umidità e la compatibilità con supporti irregolari o sensibili possono risultare più determinanti del solo valore nominale di conducibilità.

I ponti termici: dove si perde il vantaggio dell'isolamento

Il ponte termico è la porzione di involucro in cui il flusso termico si discosta dalla condizione monodimensionale assunta nel calcolo della trasmittanza, per effetto di una variazione di geometria, angoli, spigoli, innesti o di una discontinuità di materiale, come un pilastro, un cordolo o un elemento passante. In quelle zone il flusso è bidimensionale o tridimensionale, la resistenza effettiva è inferiore a quella nominale e la temperatura superficiale interna risulta più bassa di quella della parete corrente.

La quantificazione avviene attraverso due grandezze. La trasmittanza termica lineica ψ [W/(m·K)] descrive la dispersione aggiuntiva per unità di lunghezza del nodo e la trasmittanza termica puntuale χ [W/K] quella associata a discontinuità localizzate, tipicamente elementi di fissaggio passanti. Il calcolo rigoroso richiede una modellazione numerica bi- o tridimensionale conforme alla UNI EN ISO 10211 [11], che non impone una specifica tecnica di soluzione (elementi finiti, differenze finite o volumi finiti sono tutti ammessi) ma ne fissa i requisiti di discretizzazione, convergenza e validazione sui casi di riferimento; per una stima preliminare, o in fase di verifica speditiva, la UNI EN ISO 14683 [12] mette a disposizione un atlante di valori di riferimento per configurazioni ricorrenti. I due strumenti non sono equivalenti: i valori tabellati hanno incertezze dichiarate significative e nel recupero dell'esistente, dove la geometria dei nodi è raramente riconducibile ai casi tipo, il ricorso al calcolo dettagliato è spesso l'unica via per ottenere un dato affidabile.

Il punto che merita di essere sottolineato è di natura controintuitiva. In un edificio non isolato l'incidenza dei ponti termici sulle dispersioni per trasmissione è relativamente contenuta, perché il flusso attraverso la parete corrente domina il bilancio. Man mano che la parete viene isolata, il peso relativo dei nodi cresce. La rassegna di letteratura condotta da Šadauskienė et al. [13] colloca l'impatto complessivo dei ponti termici sul fabbisogno di riscaldamento in un intervallo ampio, dal 5% al 35%, a seconda della tipologia costruttiva, del livello di isolamento e del clima; l'ampiezza dell'intervallo non è un difetto della letteratura, ma il riflesso del fatto che l'incidenza è una grandezza relativa. Theodosiou e Papadopoulos [14], analizzando le murature a doppio paramento diffuse in Grecia, mostrano come proprio le tipologie in cui l'isolamento è interposto e discontinuo siano le più esposte, con dispersioni reali sistematicamente superiori a quelle stimate in fase di progetto.

Un esempio di calcolo chiarisce il meccanismo meglio di qualunque percentuale. Si consideri una facciata di 30 m² interessata da 20 m complessivi di nodi lineari (attacchi con i solai e spigoli verticali). Il contributo dei ponti termici può essere espresso come maggiorazione della trasmittanza, $\Delta U = (1/S)\cdot\Sigma\psi_j\cdot l_j$, e sommato alla trasmittanza della parete corrente. Assumendo ψ = 0,25 W/(m·K) per un nodo non corretto e ψ = 0,05 W/(m·K) per lo stesso nodo risolto con continuità dell'isolante, si ottengono i valori di Tabella 3.

Tabella 3. Effetto dei ponti termici sulla trasmittanza equivalente di una facciata, prima e dopo l'isolamento. Facciata di 30 m², 20 m di nodi lineari; ψ = 0,25 W/(m·K) per nodo non corretto e 0,05 W/(m·K) per nodo corretto. Valori indicativi, a scopo dimostrativo.

Configurazione	U parete corrente [W/(m²·K)]	ΔU da ponti termici [W/(m²·K)]	U equivalente [W/(m²·K)]	Incidenza dei nodi
Ante intervento, nodi non corretti (ψ = 0,25)	1,20	0,167	1,37	14%
Post cappotto, nodi non corretti (ψ = 0,25)	0,26	0,167	0,43	64%
Post cappotto, nodi corretti (ψ = 0,05)	0,26	0,033	0,29	13%

Fonte: elaborazione dell'autrice.

Il medesimo nodo, invariato in termini assoluti, pesa per il 14% sulla parete di partenza e per il 64% su quella riqualificata. È questo il paradosso operativo: più si investe sull'isolamento della superficie corrente, più il rendimento marginale di quell'investimento dipende dalla qualità con cui sono risolti i dettagli. E il confronto ha una conseguenza economica immediata: portare il nodo da ψ = 0,25 a ψ = 0,05 W/(m·K) riduce la trasmittanza equivalente da 0,43 a 0,29 W/(m²·K), un risultato che per sola via di isolamento della parete corrente richiederebbe circa 14 cm aggiuntivi di materiale con λ = 0,034 W/(m·K).

Un cappotto eseguito a regola d'arte sulla parete e interrotto in corrispondenza di balconi, cassonetti e attacchi dei serramenti restituisce dunque una prestazione reale sensibilmente inferiore a quella calcolata, e la differenza non è recuperabile per via impiantistica.

Questa lettura, però, va calibrata sul clima, e il punto interessa direttamente il Mezzogiorno. Evola, Margani e Marletta [15], studiando tipologie residenziali del Sud Italia rappresentative del clima mediterraneo mite, osservano che in tale contesto i ponti termici producono sì un incremento dei consumi, ma normalmente non danno luogo a condensazione e formazione di muffa; che i benefici energetici ed economici della correzione sono nettamente più consistenti nella stagione di riscaldamento che in quella di raffrescamento; e che, a fronte di costi aggiuntivi rilevanti in costruzione e in ristrutturazione, l'analisi costi-benefici della correzione non risulta favorevole senza incentivi. È una conclusione che il progettista che opera in area mediterranea deve conoscere, perché smonta l'automatismo per cui ciò che è corretto in clima continentale è anche conveniente al Sud. Va però aggiunto un aggiornamento che quello studio, del 2011, non poteva incorporare: la premessa normativa su cui si fondava, cioè un quadro italiano che raccomandava ma non imponeva la correzione dei ponti termici, non è più attuale, poiché il decreto sui requisiti minimi e il suo aggiornamento [4] richiedono il computo dei ponti termici nella trasmittanza media dell'involucro e la verifica dell'assenza di condensazione e di rischio di muffa. La correzione dei nodi non è quindi più una scelta di sola convenienza economica: è un requisito di verifica, ferma restando la necessità di dimensionarla sul clima effettivo.

La conseguenza igrotermica è altrettanto rilevante e, nella gestione dell'edificio, spesso più visibile della perdita energetica. L'abbassamento della temperatura superficiale interna in corrispondenza del nodo innalza l'umidità relativa dell'aria a contatto con la superficie. Va sottolineato che i due fenomeni di degrado non coincidono e non hanno la stessa soglia: la proliferazione di muffe si innesca già con umidità relativa superficiale dell'ordine dell'80%, quindi prima e non per effetto della condensazione, che richiede il raggiungimento del 100%. È il criterio più restrittivo, quello dell'80%, a governare la verifica, e i suoi effetti sulla qualità dell'aria interna si manifestano prima ancora che sulla bolletta. La UNI EN ISO 13788 [16] affronta il problema attraverso il fattore di temperatura sulla superficie interna $f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e)/(\theta_i - \theta_e)$, grandezza adimensionale che caratterizza il nodo indipendentemente dalle condizioni climatiche istantanee: quanto più fRsi si avvicina all'unità, tanto più la superficie interna resta prossima alla temperatura dell'aria ambiente.

Il valore minimo ammissibile discende dalla soglia di umidità relativa superficiale critica dell'80% e va determinato caso per caso in funzione del clima esterno e della classe di umidità interna secondo la procedura della norma; per le destinazioni residenziali in clima italiano i valori che ne risultano si collocano di norma intorno a 0,70-0,75, ma il ricorso al valore tabellato in luogo del calcolo è una semplificazione da dichiarare. È un criterio prezioso in fase di verifica, perché consente di individuare i nodi critici prima della realizzazione, quando la correzione ha ancora un costo marginale.

Tabella 4. Nodi ricorrenti nel recupero dell'esistente, criticità prevalente e strategie di correzione.

Nodo	Criticità prevalente	Strategia di correzione
Parete-solaio intermedio	Discontinuità dell'isolante in corrispondenza del solaio	Continuità dall'esterno; dall'interno, risvolti sull'intradosso e sull'estradosso
Parete-pilastro / cordolo	Materiale più conduttivo passante nello spessore	Sovraisolamento locale; verifica con calcolo dettagliato [11]
Balcone a soletta passante	Elevata superficie disperdente, continuità strutturale non interrompibile	Rivestimento intradosso ed estradosso; taglio termico solo se strutturalmente ammissibile
Attacco parete-serramento	Dispersione e infiltrazione concentrate; rischio di condensa sul mazzetto	Allineamento del telaio allo strato isolante; risvolto dell'isolante su imbotti e davanzale
Cassonetto avvolgibile	Volume non isolato e non a tenuta all'interno dell'involucro	Coibentazione e sigillatura del cassonetto o sostituzione con elemento isolato
Fissaggi passanti del cappotto	Ponte termico puntuale diffuso (χ)	Tasselli a ridotta conduttività; contenimento della densità di ancoraggio

Fonte: elaborazione dell'autrice.

Nella pratica del recupero, alcune situazioni ricorrono con regolarità e sono riepilogate in Tabella 4. Il nodo parete-solaio e il nodo parete-pilastro sono in genere risolvibili con continuità dall'esterno, mentre dall'interno richiedono risvolti dell'isolante sulle superfici ortogonali, con inevitabile sottrazione di spazio e con l'esigenza di verificare l'effettivo comportamento del nodo così modificato. I balconi a soletta passante costituiscono il caso più severo, per l'estensione della superficie disperdente e per l'impossibilità, in molti interventi, di interrompere la continuità strutturale: il rivestimento dell'intradosso e dell'estradosso della soletta riduce, ma non annulla, la dispersione. Cassonetti e attacchi dei serramenti concentrano dispersione e infiltrazione: la posizione del telaio nello spessore della parete, allineata allo strato isolante, incide sul nodo più della prestazione nominale del serramento stesso. Gli elementi di fissaggio passanti, infine, rappresentano il ponte termico puntuale più frequente e più trascurato: in un sistema a cappotto con densità di ancoraggio elevata il loro effetto cumulativo sulla trasmittanza del componente non è trascurabile, e la scelta di tasselli a ridotta conduttività è una misura a costo marginale nullo.

Un'ultima considerazione riguarda la diagnosi. La termografia a infrarossi consente di individuare rapidamente i nodi critici sull'edificio esistente e di orientare la progettazione dell'intervento; è però una tecnica qualitativa, che localizza le anomalie senza quantificarle. Per la misura della trasmittanza in opera si ricorre tipicamente alla termoflussimetria secondo la UNI EN ISO 9869-1 [17], che richiede campagne di durata adeguata e condizioni al contorno controllate; sono disponibili anche metodi alternativi, dall'approccio a infrarossi della Parte 2 alle tecniche di identificazione parametrica su dati dinamici. L'accoppiamento tra le due tecniche — la prima per individuare, la seconda per misurare — costituisce oggi la base di una diagnosi energetica affidabile sull'esistente e riduce sensibilmente il rischio di dimensionare l'intervento su ipotesi di stratigrafia non verificate.

Tenuta all'aria: la dispersione che non compare nel calcolo

Accanto alla trasmissione attraverso le strutture, il bilancio energetico dell'edificio comprende la componente legata al rinnovo d'aria. Una quota di questo rinnovo è voluta e necessaria alla qualità dell'aria interna; un'altra è incontrollata e attraversa le discontinuità dell'involucro (giunti, attraversamenti impiantistici, cassonetti, connessioni tra serramento e muratura) seguendo differenze di pressione dovute a vento ed effetto camino.

Nel patrimonio esistente questa componente è spesso sottovalutata perché non compare nelle verifiche di trasmittanza e non è visibile in cantiere. La sua misura si effettua mediante prova di pressurizzazione con ventilatore secondo la UNI EN ISO 9972 [18], che restituisce il tasso di ricambio d'aria n_{50} [h^{-1}] alla differenza di pressione di 50 Pa tra interno ed esterno. Gli ordini di grandezza aiutano a collocare il problema: edifici esistenti non trattati misurano frequentemente valori superiori a 5 h^{-1}, un retrofit condotto con attenzione ai giunti e agli attraversamenti riconduce il dato in un intervallo indicativo di 1-3 h^{-1}, mentre gli standard a elevatissima efficienza energetica fissano soglie dell'ordine di 0,6 h^{-1}. Si tratta di valori di riferimento ricorrenti nella pratica, non di requisiti cogenti generalizzati: il dato significativo resta quello misurato sull'edificio.

Il tema ha due implicazioni operative. La prima è che la riduzione delle infiltrazioni incontrollate concorre alla riduzione del fabbisogno con costi generalmente contenuti rispetto all'isolamento, e agisce inoltre sul comfort locale eliminando correnti d'aria fredda in prossimità dei nodi. La seconda è che un involucro reso ermetico senza contestuale progettazione della ventilazione trasferisce il problema dalla dispersione alla qualità dell'aria e al controllo dell'umidità: la tenuta all'aria è una prestazione che ha senso solo se accompagnata da un rinnovo controllato, preferibilmente con recupero di calore. È uno dei punti in cui l'errore di sequenza, intervenire sui serramenti prima di aver valutato il regime di ventilazione, produce patologie che vengono poi erroneamente attribuite ai materiali.

Materiali tradizionali e soluzioni avanzate

Le famiglie di isolanti più diffuse comprendono materiali minerali, sintetici e di origine vegetale: lane minerali, vetro cellulare, perlite, polistirene espanso o estruso, poliuretano, fibra di legno, canapa e sughero. Oltre alla conducibilità devono essere considerati densità e capacità termica, comportamento al vapore e all'acqua, reazione al fuoco, stabilità dimensionale, durabilità, lavorabilità, impatti ambientali e compatibilità con la costruzione esistente. Nel retrofit, inoltre, disponibilità di spazio, conservazione delle superfici, nodi complessi e vincoli storico-architettonici possono limitare l'impiego di sistemi convenzionali di elevato spessore. Da qui l'interesse per materiali e prodotti ad alte prestazioni in grado di aumentare la resistenza termica con spessori contenuti o di intervenire localmente sulle zone più critiche.

- *Pannelli isolanti sottovuoto*

I Vacuum Insulation Panels (VIP) sono costituiti da un nucleo microo nanoporoso racchiuso in un involucro multistrato a tenuta e mantenuto a bassa pressione. Nei pannelli con nucleo in silice pirogenica la riduzione della pressione interna limita fortemente la conduzione gassosa; il trasferimento termico residuo è quindi associato soprattutto alla conduzione nella matrice solida e alla componente radiativa. In condizioni nominali la conducibilità al centro del pannello può scendere a valori di 0,004-0,005 W/(m·K), sensibilmente inferiori a quelli dei comuni isolanti. Il vantaggio applicativo è la riduzione dello spessore, particolarmente interessante nel retrofit e negli interventi in cui ogni centimetro sottratto alla superficie utile ha un costo. La prestazione del VIP nuovo misurata in laboratorio non coincide tuttavia con quella mantenuta durante l'intera vita utile del componente. Giunti e involucro metallizzato introducono effetti di ponte termico, mentre la progressiva permeazione di aria e vapore attraverso la barriera aumenta pressione interna e contenuto di umidità, con conseguente incremento della conducibilità. A ciò si aggiunge la dipendenza della prestazione dalla temperatura operativa. Fantucci et al. [19] hanno quantificato entrambi gli effetti su pannelli a nucleo in silice pirogenica. Su un campione invecchiato 32 mesi, la conducibilità cresce da 0,0049 W/(m·K) alla temperatura media di prova di −7,5 °C fino a 0,0075 W/(m·K) a 55,5 °C: un incremento del 53% sull'intervallo di temperature operative realisticamente attingibili da un componente edilizio. Il contributo dominante è quello radiativo, che varia con il cubo della temperatura assoluta, mentre la conduzione gassosa diventa apprezzabile solo oltre i 27,5 °C. Sul fronte dell'invecchiamento, misurato sullo stesso pannello a 0, 20, 32 e 40 mesi, l'incremento di conducibilità è di circa il 6% nei primi 20 mesi e compreso tra l'8% e il 10% a 40 mesi rispetto al pannello nuovo, con i valori più alti alle temperature di prova più elevate: temperatura e invecchiamento non sono effetti indipendenti, ma si rinforzano a vicenda.

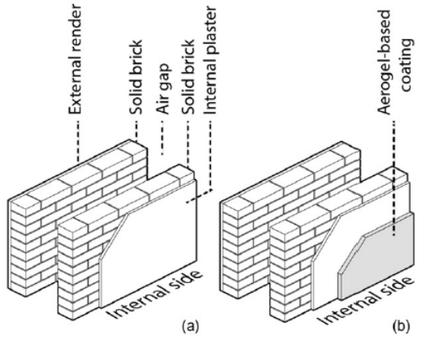
Il passaggio dalla proprietà del materiale alla prestazione edilizia rende questi effetti ancora più rilevanti. Nelle simulazioni dinamiche su una copertura inclinata in clima di Torino, l'ipotesi di conducibilità costante produce uno scostamento trascurabile sulle dispersioni invernali, circa il 3%, ma in estate sottostima gli apporti termici mensili fino a circa il 15% e i valori di picco fino al 21% [19]. La posizione del VIP nella stratigrafia diventa quindi una variabile progettuale misurabile: nella configurazione in cui il pannello è collocato sotto lo strato di XPS, anziché sopra, la temperatura di picco estiva del VIP si riduce di circa 9 °C rispetto alla configurazione esposta, con effetti diretti sulla conducibilità in esercizio e sulla durabilità, poiché sono proprio le alte temperature ad accelerare la permeazione dei gas attraverso l'involucro metallizzato. Il VIP va dunque trattato come parte di un sistema la cui prestazione dipende da temperatura, umidità, invecchiamento, giunti, dettagli costruttivi e posizione nello spessore, e, va aggiunto, dalla possibilità concreta di non forarlo in cantiere, condizione che ne limita l'impiego dove sono previsti fissaggi passanti.

- *Rivestimenti termoisolanti a base di aerogel*

Un approccio differente è rappresentato dai materiali a base di aerogel di silice. La struttura nanoporosa limita i meccanismi di trasporto del calore e permette di ottenere conducibilità ridotte a bassa densità. Nei prodotti per l'edilizia l'aerogel è spesso incorporato come aggregato leggero in intonaci, malte o rivestimenti, con il vantaggio di poter essere applicato direttamente anche su supporti irregolari. La letteratura richiamata da Fantucci et al. [20] indica, per formulazioni sperimentali ad altissimo contenuto di aerogel, valori di conducibilità fino a 0,014-0,016 W/(m·K), e valori di 0,025-0,027 W/(m·K) per intonaci con granuli di aerogel come aggregato leggero; i prodotti effettivamente disponibili sul mercato europeo dichiarano però conducibilità nell'intervallo 0,028-0,048 W/(m·K), perché devono garantire anche resistenza meccanica, lavorabilità e durabilità. Lo scarto tra il dato di laboratorio e quello di catalogo è, di per sé, un avvertimento metodologico. Il vantaggio nel retrofit deriva quindi dalla combinazione tra prestazione termica, ridotto spessore e adattabilità geometrica, non dalla pretesa di sostituire in modo generaliz-

zato un cappotto convenzionale di maggiore spessore.
Nel lavoro sperimentale citato, dopo la caratterizzazione termo-fisica e meccanica di differenti formulazioni, viene selezionato un rivestimento con densità di circa 326 kg/m³ e conducibilità termica equivalente di 0,051 W/(m·K). L'ottimizzazione della matrice e l'inserimento dell'aerogel riducono la conducibilità di circa il 62% rispetto alla formulazione di riferimento, mantenendo proprietà meccaniche compatibili con l'applicazione prevista. Come mostrato in Figura 2 il prodotto viene applicato dall'interno, con uno spessore di circa 12 mm, su una parete di un edificio residenziale degli anni Venti a Torino e monitorato durante il periodo invernale. Rispetto alla porzione non trattata, la trasmittanza misurata in opera con il metodo delle medie progressive della UNI EN ISO 9869-1 [17] passa da 1,22 a 0,90 W/(m²·K), con una riduzione dichiarata dagli autori di circa il 27% sulla trasmittanza e del 37% sulla conduttanza; il valore mediano del flusso termico disperso diminuisce di circa il 30% e la temperatura superficiale interna mediana aumenta di circa 1,4 °C. Vale la pena osservare che la riduzione misurata eccede quella calcolabile per via analitica dal solo contributo di resistenza dello strato aggiunto, 12 mm a 0,051 W/(m·K) valgono 0,235 m²·K/W, che porterebbero la trasmittanza a 0,95 W/(m²·K), scarto fisiologico quando il termine di confronto è una muratura storica di stratigrafia non nota, e ulteriore argomento a favore della misura in opera rispetto al calcolo su stratigrafia presunta.

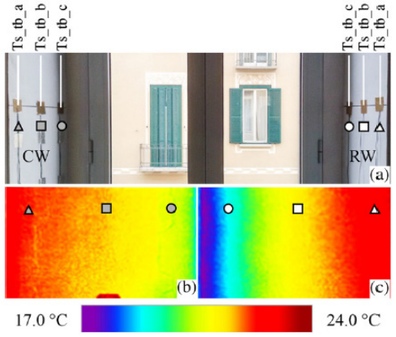
Figura 2. Schema delle due configurazioni analizzate: (a) parete di riferimento (RW); (b) parete rivestita (CW) con coating termoisolante a base di aerogel applicato sul lato interno.



Fonte: Fonte: Fantucci et al. [20].

Particolarmente significativo è il comportamento in corrispondenza dei ponti termici. Nell'attacco parete-serramento, a 5 cm dal nodo, il rivestimento porta la temperatura superficiale minima da 15,3 a 16,9 °C. Nell'analisi degli autori, condotta con temperatura dell'aria interna mantenuta a 23 ± 1 °C per l'intero monitoraggio invernale, con umidità relativa interna del 60% non si registra condensazione in nessuna delle due configurazioni, mentre al 70% la parete di riferimento raggiunge condizioni di condensazione superficiale per circa il 30% del tempo e il rischio risulta neutralizzato nella porzione trattata. Il beneficio è però marcatamente locale (Figura 3): a 5 cm dal nodo l'incremento di temperatura superficiale è di 1,6 °C, a 15 cm è già trascurabile e a 25 cm la porzione trattata registra addirittura una temperatura lievemente inferiore. Il caso studio mostra quindi che, per un rivestimento sottile, il beneficio non deve essere valutato soltanto attraverso la riduzione della U della parete: l'aumento della temperatura superficiale e la mitigazione locale dei ponti termici possono essere altrettanto rilevanti, e sono peraltro i benefici che l'occupante percepisce.

Figura 3. (a) Termocoppie installate in corrispondenza dei ponti termici; (b) immagine a infrarossi del ponte termico della parete rivestita (CW); (c) immagine a infrarossi del ponte termico della parete di riferimento (RW).



Fonte: Fantucci et al. [20].”

Restano due criticità che il progettista deve mettere in conto. La prima è economica: il costo del solo materiale per gli intonaci ad alto contenuto di aerogel è stimato dagli autori nell'ordine di 60 €/m² per centimetro di spessore, cifra che rende la soluzione competitiva come

intervento mirato sulle zone critiche assai più che come trattamento estensivo. La seconda è di cantiere, e viene spesso trascurata: sono necessari circa due mesi perché l'acqua d'impasto abbandoni lo strato, e finché il contenuto di umidità resta elevato la prestazione termica è sensibilmente peggiore di quella finale, i dati sopra riportati si riferiscono infatti a misure eseguite dopo tale periodo di maturazione.
Nel complesso, VIP e rivestimenti a base di aerogel mostrano che l'innovazione nell'isolamento è efficace quando la proprietà del materiale risponde a uno specifico vincolo progettuale e mantiene il proprio vantaggio alla scala del componente in opera. Il criterio di selezione non è il valore di conducibilità dichiarato, ma il rapporto tra prestazione conservata in esercizio e vincolo che si intende superare.

Dalla prestazione del prodotto alla progettazione del sistema
Il valore di un'innovazione di materiale non risiede soltanto nelle prestazioni nominali dichiarate, ma nella capacità di tradurle in un miglioramento effettivo alla scala del componente e dell'edificio. Il vantaggio associato a una bassa conducibilità o a uno spessore ridotto può infatti essere attenuato da giunti, fissaggi, discontinuità di posa, presenza di umidità o condizioni operative diverse da quelle di laboratorio. Analogamente, un componente caratterizzato da un'elevata resistenza termica può non risolvere problemi di surriscaldamento, infiltrazioni o discomfort locale. La qualità della soluzione progettuale dipende quindi dalla capacità di mettere in relazione le proprietà del prodotto con la stratigrafia, i dettagli costruttivi, le condizioni al contorno e le modalità effettive di utilizzo dell'edificio.
La stessa prospettiva dovrebbe orientare anche gli strumenti di valutazione e incentivazione, riconoscendo benefici che non si esauriscono nella sola riduzione della trasmittanza: contenimento degli spessori, correzione dei ponti termici, aumento delle temperature superficiali interne, miglioramento del comportamento estivo, durabilità e qualità dell'ambiente interno. Criteri basati prevalentemente sul salto di classe energetica o sul raggiungimento di determinati valori di U rischiano infatti di non rappresentare pienamente il valore di interventi mirati che, soprattutto nel costruito storico o sottoposto a vincoli, possono costituire le soluzioni tecnicamente più appropriate. Lo stesso principio assume ancora maggiore rilevanza per le tecnologie a comportamento dinamico, la cui prestazione non può essere ricondotta a un unico valore costante, ma dipende dall'interazione nel tempo tra sistema, condizioni climatiche e strategie di gestione dell'edificio.

Conclusioni. Una gerarchia di progetto
Una riqualificazione efficace richiede quindi una gerarchia di progetto chiara. Si parte dalla conoscenza dell'edificio, attraverso il rilievo della stratigrafia effettiva, la diagnosi dei nodi e, quando necessario, la verifica in opera delle prestazioni. Su questa base si interviene innanzitutto sulla domanda, riducendo dispersioni e discontinuità attraverso isolamento, correzione dei ponti termici, tenuta all'aria e controllo solare. Solo successivamente si dimensionano gli impianti sui carichi residui dell'edificio riqualificato, affinché possano operare nelle condizioni di maggiore efficienza rese possibili dall'involucro. L'ultimo livello è quello della gestione: sensori e regolazione consentono di sfruttare in modo adattivo l'inerzia dell'edificio e gli accumuli impiantistici, trasformandoli da caratteristiche passive in risorse per la gestione energetica.Ciascuno di questi passaggi produce risultati parziali se isolato dagli altri, e in alcuni casi produce danni: un involucro reso ermetico senza ventilazione controllata, un isolamento interno senza verifica igrotermica, un generatore ad alta efficienza dimensionato su carichi non più esistenti. L'obiettivo non è massimizzare separatamente la prestazione di ogni componente, ma ottenere un sistema edificio-impianto-controllo coerente, robusto rispetto agli scostamenti tra progetto ed esercizio e capace di adattarsi alle condizioni climatiche e operative. È in questa coerenza, più che nel primato di una singola tecnologia, che si misura oggi la qualità di un intervento di riqualificazione energetica.

BIBLIOGRAFIA

[1] ENEA, La consistenza del parco immobiliare nazionale, Dipartimento Unità Efficienza Energetica, 2024.
[2] Legge 30 aprile 1976, n. 373, Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici.
[3] ISTAT, Statistiche sui permessi di costruire - Anno 2024, 10 luglio 2025.
[4] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Decreto 28 ottobre 2025, Aggiornamento del decreto 26 giugno 2015, recante «Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici», G.U. Serie Generale n. 283 del 5 dicembre 2025; in vigore dal 3 giugno 2026.
[5] M. Riganti, G. Li Castri, V. Serra, M. Manca, F. Favoino, «Energy saving potential of advanced dual-band electrochromic smart windows for office integration», Energy and Buildings, 327, 115084, 2025. doi:10.1016/j.enbuild.2024.115084.
[6] G. Li Castri, V. Serra, M. Perino, F. Favoino, «Energy flexibility potential of transparent responsive building envelope elements»,

Proceedings of Building Simulation 2025, 19th IBPSA Conference, Brisbane, 24-27 agosto 2025.
[7] UNI EN ISO 6946:2018 e UNI EN ISO 6946:2018/NA:2025, Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodi di calcolo.
[8] UNI EN ISO 13786:2018 e UNI EN ISO 13786:2018/NA:2025, Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo.
[9] A. Staszczuk, T. Kuczyński, «The impact of floor thermal capacity on air temperature and energy consumption in buildings in temperate climate», Energy, 181, 908–915, 2019. doi:10.1016/j.energy.2019.05.202.
[10] C. Rode (Ed.) et al., Moisture Buffering of Building Materials, BYG Report R-127, NORDTEST Project 04023, Technical University of Denmark, 2005. ISBN 87-7877-195-1.
[11] UNI EN ISO 10211:2018 e UNI EN ISO 10211:2018/NA:2025, Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati.
[12] UNI EN ISO 14683:2018 e UNI EN ISO 14683:2018/NA:2025, Ponti termici in edilizia - Trasmittanza termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento.
[13] J. Šadauskienė, J. Ramanauskas, L. Šeduikytė, M. Daukšys, A. Vasylius, «A Simplified Methodology for Evaluating the Impact of Point Thermal Bridges on the High-Energy Performance of a Passive House», Sustainability, 7(12), 16687-16702, 2015. doi:10.3390/su71215840.
[14] T.G. Theodosiou, A.M. Papadopoulos, «The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions», Energy and Buildings, 40(11), 2083-2089, 2008. doi:10.1016/j.enbuild.2008.06.006.
[15] G. Evola, G. Margani, L. Marletta, «Energy and cost evaluation of thermal bridge correction in Mediterranean climate», Energy and Buildings, 43(9), 2385-2393, 2011. doi:10.1016/j.enbuild.2011.05.028.
[16] UNI EN ISO 13788:2013, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo.
[17] UNI EN ISO 9869-1:2015, Isolamento termico - Elementi per l'edilizia - Misurazione in situ della resistenza termica e della trasmittanza termica - Parte 1: Metodo del termoflussimetro.
[18] UNI EN ISO 9972:2015, Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore.
[19] S. Fantucci, A. Lorenzati, A. Capozzoli, M. Perino, «Analysis of the temperature dependence of the thermal conductivity in Vacuum Insulation Panels», Energy and Buildings, 183, 64-74, 2019. doi:10.1016/j.enbuild.2018.10.002.
[20] S. Fantucci, E. Fenoglio, G. Grosso, V. Serra, M. Perino, V. Marino, M. Dutto, «Development of an aerogel-based thermal coating for the energy retrofit and the prevention of condensation risk in existing buildings», Science and Technology for the Built Environment, 25(9), 1178-1186, 2019. doi:10.1080/23744731.2019.1634931.

Progettare la ventilazione meccanica: integrazione tra impianti aeraulici, architettura, comfort, energia e qualità dell'aria interna

Giovanni Semprini

Un impianto di ventilazione efficace deve portare aria di rinnovo dove serve e ridurre la concentrazione degli inquinanti a livelli compatibili con la salubrità degli ambienti e la salute degli occupanti. Deve inoltre funzionare con consumi e livelli di rumore contenuti. Per ottenere questo risultato occorre progettare in modo integrato l'edificio, le reti aerauliche, la diffusione e la regolazione, prevedendo fin dall'inizio gli spazi per l'installazione e la manutenzione. La qualità dell'aria interna, indicata con la sigla IAQ, è una componente della qualità complessiva degli ambienti interni, o IEQ, insieme al benessere termico, acustico e visivo. Ventilazione e climatizzazione svolgono funzioni diverse: la prima assicura il ricambio d'aria; la seconda consente di regolare le condizioni termiche e, se il sistema lo prevede, l'umidità.

Inquinanti e strategie di controllo

Le sorgenti di inquinamento possono essere interne o esterne. Negli ambienti si possono trovare gas e vapori, come composti organici volatili (VOC) e prodotti della combustione (CO, NO_x); particelle e fibre; contaminanti biologici, come spore fungine e aerosol contenenti microrganismi. Gli occupanti (che emettono CO_2), le attività di cottura, il fumo, i detergenti, i materiali e gli arredi contribuiscono in misura diversa alle emissioni. Il radon è un gas radioattivo di origine prevalentemente geologica e richiede valutazioni specifiche.
L'esposizione a tali inquinanti genera effetti che spaziano dal disagio olfattivo a manifestazioni respiratorie, fino allo sviluppo di allergie o malattie conclamate (ad esempio, la Sick Building Syndrome). L'effetto dell'esposizione dipende dall'agente, dalla concentrazione, dalla durata e dalla sensibilità individuale.
Per controllare la qualità dell'aria, la prima misura consiste nel ridurre le emissioni alla sorgente, tramite limitazioni, schermature o filtrazione specifica. La strategia più comune negli ambienti interni consiste tuttavia nella riduzione della concentrazione mediante diluizione con aria pulita. Con la ventilazione, l'aria esterna — che generalmente presenta una concentrazione inferiore di inquinanti — viene miscelata con quella interna viziata, abbassando la concentrazione degli inquinanti al di sotto delle soglie stabilite dalla comunità scientifica e medica. La filtrazione deve integrare queste misure, poiché l'aria esterna utilizzata per la ventilazione può introdurre particolato e gas. Il rispetto di una portata convenzionale di aria di rinnovo non garantisce, da solo, l'assenza di rischi.

Ventilazione naturale e meccanica

La ventilazione naturale dipende dal vento, dalle differenze di temperatura e dalla configurazione delle aperture. Può risultare adeguata in condizioni favorevoli, ma la sua continuità e le portate effettive sono più difficili da assicurare, soprattutto con finestre gestite manualmente. Dal punto di vista energetico, sebbene non richieda consumi per i ventilatori, comporta scambi termici con l'esterno. La loro incidenza sul fabbisogno di climatizzazione degli ambienti può essere considerevole e dipende dal clima, dall'involucro, dall'uso e dalle portate d'aria.
La ventilazione meccanica consente invece un controllo più diretto delle portate e, nei sistemi predisposti, della filtrazione dell'aria immessa. Sono possibili anche soluzioni ibride. Negli edifici a elevata tenuta all'aria il ricambio deve essere pianificato, poiché le infiltrazioni casuali non costituiscono una strategia affidabile. L'integrazione del recupero di calore nei sistemi meccanici può ridurre l'energia necessaria a trattare l'aria di rinnovo. Il beneficio effettivo va valutato insieme ai consumi elettrici dei ventilatori, alle perdite di carico, allo sbrinamento e alle modalità di regolazione. La convenienza economica richiede un confronto tra soluzioni che assicurino prestazioni equivalenti.
Il ricambio d'aria contribuisce inoltre a smaltire il vapore prodotto negli ambienti quando l'aria esterna contiene meno umidità, in termini assoluti, di quella interna. In inverno contribuisce ad abbassare il punto di rugiada, riducendo il rischio di condensa sulle superfici fredde delle strutture perimetrali esterne e in corrispondenza dei ponti termici. Una ventilazione meccanica opportunamente progettata e installata consente di controllare queste condizioni critiche.

Scegliere la configurazione impiantistica

A seconda delle esigenze applicative e strutturali, si distinguono diverse configurazioni impiantistiche:
- Semplice flusso per estrazione. Uno o più ventilatori estraggono aria dai locali di servizio, come bagni e cucine, attraverso più punti

di ripresa. L'aria di rinnovo entra da aperture dedicate, collocate nei serramenti o nelle pareti e dotate di apposite griglie autoregolabili o igroregolabili. Occorre dimensionare anche i passaggi di trasferimento tra i locali e verificare gli effetti delle depressioni, compresa la compatibilità con gli apparecchi a combustione e con la presenza di radon.

- Doppio flusso con recupero di calore. Questi sistemi impiegano due ventilatori, uno di mandata e uno di ripresa, abbinati a un recuperatore di calore integrato nella macchina. Nelle abitazioni l'aria viene normalmente immessa nei locali principali ed estratta da quelli di servizio, con passaggi intermedi adeguati. Il progetto deve prevedere il bilanciamento delle portate, gli scarichi della condensa quando necessari e l'accessibilità ai filtri e allo scambiatore. L'installazione richiede spazi adeguati per l'unità e per le canalizzazioni: un aspetto critico soprattutto negli edifici esistenti o negli interventi di recupero e restauro.
- Unità decentralizzate. Servono singoli locali o porzioni dell'edificio e riducono la necessità di canalizzazioni. Possono funzionare a flussi simultanei oppure alternati. Nei modelli alternati occorre rispettare le condizioni di abbinamento e sincronizzazione previste dal sistema. La scelta deve basarsi sulle portate effettivamente utilizzabili con un rumore accettabile. I modelli installati sulle pareti esterne, sebbene non garantiscano un'elevata efficienza di ventilazione in spazi molto ampi, costituiscono una valida alternativa laddove risulti impossibile posare reti di canalizzazione.
- Sistemi centralizzati con unità di trattamento aria. Utilizzati in edifici complessi, questi sistemi non si limitano al ricambio d'aria, ma provvedono al trattamento termoigrometrico completo o parziale: riscaldamento, raffrescamento, umidificazione e deumidificazione. Richiedono una rete di distribuzione canalizzata, sviluppata in verticale e in orizzontale, e terminali di diffusione ed estrazione dell'aria accuratamente progettati e posizionati negli ambienti.

Criteri di progettazione

- Le portate di aria di rinnovo:

Il dimensionamento di un impianto di ventilazione meccanica parte dalla valutazione delle portate di aria di rinnovo, che dipendono dalla destinazione d'uso, dall'affollamento, dalle attività svolte, dagli orari di utilizzo e dalle sorgenti di emissione.

Il riferimento tecnico attuale è costituito dalla serie UNI EN 16798 e, in particolare, dalla Parte 1, che disciplina i parametri di ingresso per la progettazione termoenergetica in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica. La norma classifica gli edifici in quattro categorie prestazionali: dal livello di aspettativa più elevato, utilizzabile ad esempio per ospedali e scuole, ai livelli medi standard, utilizzabili per nuove costruzioni e ristrutturazioni, e definisce i metodi di calcolo per le portate d'aria esterna. Nel metodo di calcolo basato sulla qualità dell'aria percepita, la portata di aria esterna comprende un contributo dovuto alle persone e uno dovuto alle emissioni dell'edificio. In forma schematica:

$q = N \times q_p + A \times q_\beta$

N è il numero di occupanti; A è la superficie di pavimento considerata; q_p è la portata per persona e q_β quella per unità di superficie. I valori si scelgono in base al metodo applicabile, alla categoria ambientale e alle emissioni, tenendo conto delle scelte nazionali.

La portata di rinnovo va distinta dalla portata totale trattata o immessa, che può comprendere ricircolo ed essere determinata anche dai carichi termici. Un aumento del ricircolo non equivale a un aumento dell'aria esterna.

- Reti aerauliche, diffusori e integrazione architettonica:

Le reti vanno dimensionate per portata, velocità, perdite di carico, tenuta e rumore. La prevalenza del ventilatore deve coprire le resistenze di canali, raccordi, terminali e componenti, considerando anche l'aumento di resistenza dei filtri in esercizio. L'isolamento e il controllo del vapore devono essere adeguati alle temperature dell'aria e degli ambienti attraversati. Materiali e geometrie si scelgono anche in funzione della pulibilità, della durabilità e della reazione al fuoco.

I diffusori devono assicurare un ricambio efficace nella zona occupata senza correnti fastidiose. Il getto dipende dalla velocità iniziale, dalla geometria, dagli ostacoli e dalla differenza di temperatura: un diffusore si comporta in modo diverso in regime invernale (aria calda, tendenza alla stratificazione e flussi orizzontali) rispetto a quello estivo (aria fredda e flussi verticali). Non esiste una regola generale per la scelta del terminale, ma sono necessarie verifiche del lancio e della temperatura dell'aria nelle diverse condizioni di funzionamento, comprese quelle a portata ridotta, nonché una verifica della rumorosità negli ambienti.

Un aspetto fondamentale nella scelta dei diffusori è la valutazione dell'efficienza di ventilazione, che misura la capacità del sistema di distribuire omogeneamente la portata d'aria all'interno dell'ambiente. In presenza di stratificazioni termiche, ad esempio con estrazione alta in inverno, l'efficienza può ridursi a valori compresi tra 0,4 e 0,7, rendendo necessario incrementare notevolmente le portate di progetto. Al contrario, le configurazioni con estrazione a pavimento garantiscono efficienze elevate, comprese tra 0,9 e 1. Per gli impianti complessi, l'analisi può essere perfezionata mediante modellazioni fluidodinamiche computazionali (CFD) o monitoraggi avanzati.

Le UTA moderne integrano due ventilatori, uno di mandata e uno di ripresa, scambiatori termici (batterie) per il riscaldamento e il raffreddamento, recuperatori di calore ad alta efficienza e sezioni di filtrazione multistadio, disposte all'ingresso e a monte e/o a valle delle batterie di trattamento. Nei casi critici, sono previsti stadi finali di filtrazione ad altissima efficienza.

Le macchine, le canalizzazioni e i diffusori richiedono spazi adeguati non solo per l'installazione, ma anche per consentire la manutenzione, come l'estrazione dei filtri e la pulizia dei condotti: vani tecnici, cavedi, controsoffitti, prese ed espulsioni devono essere definiti insieme all'architettura dell'edificio. L'utilizzo di strumenti di modellazione tridimensionale e del BIM (Building Information Modeling) permette di risolvere preventivamente le interferenze tra le reti impiantistiche e le strutture edilizie o le partizioni interne e di valutare le compartimentazioni antincendio e gli attraversamenti. È quindi possibile evitare o ridurre le modifiche in corso d'opera che possono pregiudicare le prestazioni finali dell'impianto o aumentarne i costi di installazione e manutenzione.

- Filtrazione, regolazione e rumore:

La filtrazione va scelta in funzione degli inquinanti esterni e della qualità richiesta all'aria immessa, valutando efficienza, tenuta dell'installazione e perdita di carico. La serie UNI EN ISO 16890 classifica i filtri per ventilazione generale rispetto al particolato nei gruppi ISO ePM_1, ISO $ePM_{2,5}$, ISO ePM_{10} e ISO Coarse. I comuni filtri antiparticolato non rimuovono in modo significativo gas come la CO_2 e il radon; altri gas possono richiedere trattamenti specifici. I filtri HEPA hanno un diverso riferimento di classificazione.

La regolazione in base alla domanda, o DCV, può modulare l'aria esterna in funzione dell'occupazione, dell'umidità o di altri indicatori pertinenti. I sistemi VAV variano la portata d'aria anche per esigenze termiche: i due concetti non sono equivalenti. La CO_2 è utile come indicatore della ventilazione rispetto alla presenza delle persone, ma non descrive tutti gli inquinanti. Le riduzioni di portata devono rispettare i fabbisogni residui e le condizioni di pressione richieste.

Il rumore va valutato sia all'interno degli ambienti serviti dall'impianto, sia presso i potenziali ricettori esterni, secondo i vigenti riferimenti normativi. La valutazione del rumore negli ambienti interni parte dalla conoscenza dei livelli di potenza sonora delle macchine e analizza gli effetti lungo tutti i percorsi di trasmissione: attraverso i canali, le strutture, i terminali e gli eventuali sistemi di attenuazione previsti, come silenziatori e dispositivi antivibranti.

Dalla messa in servizio alla manutenzione

Alla consegna occorre verificare le portate effettive, il bilanciamento, il funzionamento dei comandi, la rumorosità e la corrispondenza tra impianto realizzato e progetto. Il piano di manutenzione deve indicare gli accessi, i componenti da controllare, le modalità di sostituzione o di pulizia e sanificazione dei filtri, la gestione della condensa e le verifiche di pulizia.

La UNI EN 15780:2025 offre criteri per valutare e mantenere la pulizia dei sistemi entro il proprio campo di applicazione. La necessità degli interventi dipende dalle condizioni dell'impianto e dall'uso; le ispezioni energetiche previste dalla legislazione hanno finalità e regole diverse.

Un buon progetto deve quindi tradursi in prestazioni verificabili durante l'uso: aria di rinnovo sufficiente, distribuzione efficace, trattamenti adeguati alle sorgenti presenti e gestione praticabile nel tempo. La ventilazione meccanica offre strumenti utili per raggiungere questi obiettivi quando è scelta, dimensionata e mantenuta in relazione all'edificio reale.

Riferimenti tecnici e obblighi di legge

La UNI 10339:1995 è stata ritirata senza sostituzione il 4 luglio 2024. Tra i riferimenti attuali figurano la UNI EN 16798-1:2019 con l'appendice nazionale UNI EN 16798-1:2019/NA:2025 e, per i sistemi non residenziali, la UNI EN 16798-3:2025. Per la ventilazione residenziale è pertinente anche la UNI EN 15665:2009. La serie 16798 non costituisce una sostituzione formale unica della UNI 10339.

Devono inoltre essere verificati i requisiti igienico-sanitari, energetici, acustici e antincendio applicabili. Il DM 37/2008 disciplina gli aspetti di progettazione, installazione e conformità ricadenti nel suo ambito. Nei luoghi di lavoro il D.Lgs. 81/2008, allegato IV, prevede requisiti di aerazione e controlli, manutenzione e pulizia degli impianti.

La direttiva (UE) 2024/1275 rafforza l'attenzione alla qualità degli ambienti interni e prevede misure su monitoraggio, automazione e ispezioni, con ambiti, soglie ed esenzioni specifici. Non introduce indistintamente gli stessi obblighi per ogni edificio o impianto. L'applicazione italiana va riferita agli atti nazionali vigenti e al recepimento, il cui termine generale era il 29 maggio 2026.

Conclusioni

L'analisi degli impianti di ventilazione meccanica evidenzia come tali sistemi non rappresentino più un semplice elemento accessorio negli edifici moderni, bensì un componente strategico e imprescindibile per garantire il benessere psicofisico degli occupanti, l'efficienza energetica e la salvaguardia del patrimonio edilizio.

Come emerso, la transizione verso edifici a elevate prestazioni energetiche e fortemente coibentati ha reso necessario il ricorso alla ventilazione meccanica controllata per superare i limiti strutturali ed energetici della ventilazione naturale, prevenire la formazione di condensa e muffe e mantenere la concentrazione degli inquinanti negli ambienti interni al di sotto delle soglie di sicurezza.

Tuttavia, la complessità tecnologica di questi impianti - dai sistemi decentralizzati a doppio flusso fino alle grandi unità di trattamento aria centralizzate - richiede un'evoluzione dell'approccio professionale:

- Progettazione integrata: è fondamentale superare la visione settoriale attraverso l'impiego di strumenti avanzati di modellazione, come il BIM, e un coordinamento costante tra impiantisti, architetti e specialisti acustici ed energetici, al fine di prevenire interferenze strutturali e ottimizzare il comportamento dei terminali di diffusione e delle reti di canalizzazione.
- Attenzione alle prestazioni reali: la fase di dimensionamento non può più prescindere dall'analisi dei carichi dinamici, dall'efficienza reale di ventilazione e dalla corretta gestione della rumorosità, come richiesto dagli standard normativi attuali della serie UNI EN 16798.
- Gestione e manutenzione: la filtrazione avanzata, l'integrazione con i sistemi di automazione (Building Automation) e l'adozione di regolazioni a portata variabile (VAV) costituiscono le leve principali per coniugare la qualità dell'aria con la riduzione dei consumi energetici. Parallelamente, la manutenzione periodica e le ispezioni programmate dei sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria (HVAC) si confermano obblighi non eludibili per evitare che gli impianti stessi diventino veicoli di contaminazione.

In conclusione, il futuro della progettazione aeraulica richiede professionisti altamente qualificati, capaci di recepire le nuove direttive europee e gli obblighi normativi in materia di Indoor Environmental Quality (IEQ). Solo attraverso un rigoroso controllo di tutte le fasi del ciclo di vita dell'impianto - dalla concezione preliminare al collaudo, fino alla gestione e al monitoraggio continuo - sarà possibile realizzare edifici sani, sicuri e realmente sostenibili.

Riscaldamento, raffrescamento e ACS: tecnologie sostenibili e transizione energetica

Fabio Fantozzi

L'aumento esponenziale degli acquisti di ventilatori e climatizzatori (quasi esclusivamente split), dovuti alla difficile situazione climatica del momento, evidenziano la fragilità del sistema edificio – impianto dell'edilizia italiana, soprattutto esistente e la necessità di attuare celermente una transizione energetica.

Le principali motivazioni che giustificano questa esigenza e che hanno accelerato fortemente questa transizione sono:

- crisi climatica e obiettivi UE al 2050 sulla neutralità climatica (richiamata anche nella Dir. 2023/1791 sull'efficienza energetica)
- gli edifici (sia nel residenziale che nel terziario) contribuiscono al 36% delle emissioni e 40% dei consumi energetici
- necessità di elettrificazione e riduzione dei combustibili fossili
- crescita delle rinnovabili e delle tecnologie ad alta efficienza; supporto dovuto al diffondersi delle CER

All'impiantistica residenziale è richiesta oggi una rivoluzione strutturale guidata da diverse forze convergenti:

- sapersi coniugare con l'involucro che caratterizza la tipologia di edificio. Assai diversa è la situazione di edifici energivori come quelli costruiti fino agli anni '80 e l'evoluzione che si sta inquadrando oggi negli edifici ad emissioni zero, dopo essere passati per qualche anno dalla progettazione di edifici nZEB.
- l'evoluzione del concetto di benessere abitativo legato all'importante tematica della qualità dell'aria che deve essere garantita all'interno degli ambienti, soprattutto se destinati ad uso pubblico.
- l'urgenza imposta dai cambiamenti climatici che vedono spostare l'obiettivo verso un adeguato raffrescamento estivo dando per scontato che sia garantito il riscaldamento invernale.

Progettare oggi un sistema di climatizzazione non significa più solo garantire temperature gradevoli, ma orchestrarle all'interno di un quadro di transizione energetica e decarbonizzazione.

Si è di fatto creato un nuovo paradigma del comfort tra esigenze abitative assai diverse dal passato ed evidenti cambiamenti climatici che hanno inciso sulle prime.

I suddetti mutamenti climatici globali hanno radicalmente modificato anche il profilo termico delle nostre città innescando un fenomeno noto come "isola di calore" che tenderebbe a diversificare le esigenze da soddisfare per lo stesso edificio, se facente parte di un contesto cittadino (come le classiche città a bollino rosso, tristemente note in questo periodo), da altri contesti in cui le conseguenze del clima sono meno traumatizzanti. Le stagioni invernali presentano picchi di freddo brevi ma intensi, mentre quelle estive si sono trasformate in lunghi periodi caratterizzati da ondate di calore estremo e tassi di umidità elevati che, peraltro, non sono più tipici della sola fase giornaliera classica, ma in modo particolare anche di quella notturna visto che anche le temperature minime estive sono decisamente salite e c'è sempre meno differenza fra le temperature massime e le minime. In tante città italiane i gradi-giorno legati al raffreddamento hanno fatto dei balzi decisamente elevati e l'esigenza di raffreddare gli ambienti è ad oggi una necessità globale.

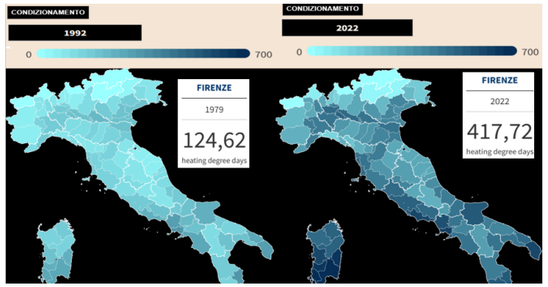


Figura 1. Significative variazioni delle esigenze di raffreddare (fonte: Il Sole 24 Ore)

Per contenere i consumi energetici legati alla realtà attuale e pilotarli in un'orbita sostenibile (che tenga conto, per i tanti segnali d'allarme che il clima ci manda, della necessaria transizione dall'attuale uso dei classici combustibili fossili fino al loro definitivo abbandono, previsto per il 2040), l'Europa ha avviato una decisa lotta ai cambiamenti climatici attraverso il Green Deal, un piano strategico per azzerare le emissioni nette di gas serra entro il 2050. Relativamente agli edifici, in termini di efficienza energetica, ha fissato l'obbligo di ridurre i consumi con precise scadenze tramite la direttiva "Case Green" e la ristrutturazione degli edifici innalzando parallelamente il target vincolante di energia pulita (eolico e solare).

In Italia, con l'entrata in vigore del Decreto Requisiti Minimi 2025 (DM 28 ottobre 2025, in vigore dal 3 giugno 2026), la conformità energetica di un edificio non dipende più da un singolo calcolo, ma

dalla coerenza tra involucro, impianti, automazione (BACS), infrastrutture di ricarica elettrica e documentazione tecnica.
Stendendo un velo pietoso sull'esistente dove, fra edifici storici tutelati dalle varie Soprintendenze o altre destinazioni vincolate, non è facile intervenire né sull'involucro né sull'impiantistica e tanto meno nel garantire forme di energia rinnovabile di supporto, la normativa (soprattutto la recente "Case Green"), per le nuove costruzioni ha allargato la visione dell'edificio a quella di sistema edificio – impianto dove appare evidente che le progettazioni dei due aspetti debbano essere interconnesse se si vogliono raggiungere risultati di rilievo.
Nel caso dell'edificio va da sé che, in una situazione come quella attuale, si debba tener conto primariamente di un equilibrio dinamico in cui la struttura muraria sappia ben rispondere al variare delle condizioni esterne con fattori di attenuazione e, soprattutto, sfasamenti adeguati anche al tipo di destinazione d'uso del suddetto edificio.
Risulta ormai abbastanza acquisita anche la necessità del modello circolare nel percorso di transizione energetica per l'azione di contrasto alla crisi climatica, per cui la scelta dei materiali, in una logica LCA, a parità di prestazioni garantite, dovrà essere la più rispondente a logiche di sostenibilità ambientale e riduzione dei consumi tenendo conto non solo delle fasi in opera ma anche di quelle legate all'estrazione, lavorazione, trasporto e smaltimento degli stessi.
Senza un impianto adeguato, in edifici di questo tipo, il calore generato internamente (elettrodomestici, occupanti, radiazione solare dalle finestre) rischia però di intrappolarsi, causando surriscaldamento anche in mezza stagione.
Tenendo conto di tutte queste premesse si progetta dunque, in contemporanea, l'impianto più adatto al comportamento dell'involucro scelto senza dimenticare che, mentre in passato il carico termico invernale rappresentava la voce principale della progettazione, oggi il carico estivo è diventato paritetico, se non predominante. Altra prerogativa dell'impianto è anche quella legata alle moderne esigenze di comfort, che richiedono sistemi in grado di passare rapidamente dalla modalità riscaldamento a quella di raffrescamento o viceversa, mantenendo un controllo ottimale non solo della temperatura, ma anche dell'umidità relativa, soprattutto nell'edilizia pubblica
Per garantire la qualità dell'aria interna (IAQ) non va poi dimenticato che un edificio ermetico (in virtù della tenuta degli infissi attuali) necessita di un ricambio d'aria costante per evitare l'accumulo di CO_2, VOC (composti organici volatili) e umidità in eccesso, spesso causa di muffe. Il comfort globale non può quindi più prescindere dalla purificazione e dal rinnovo controllato dei flussi d'aria che passano attraverso impianti di ventilazione meccanica controllata (VMC).
La VMC è l'anello di congiunzione tra efficienza e comfort ambientale. L'aria esausta calda (o fredda d'estate), estratta dai locali più umidi (cucina, bagni), cede fino al 90-95% del suo calore all'aria pulita di rinnovo immessa dall'esterno, attraverso uno scambiatore a flussi incrociati. In questo modo si garantisce aria purificata senza disperdere l'energia termica accumulata nell'edificio.
La transizione energetica impone dunque l'abbandono progressivo dei combustibili fossili (metano, GPL, gasolio) a favore dell'elettrificazione dei consumi e dell'integrazione di fonti rinnovabili locali.
Le tecnologie chiave per raggiungere questo obiettivo economico ed energeticamente sostenibile non dispongono, ad oggi, di tante scelte diversificate, anzi sembra esserci una sola scelta, alternativa alle vecchie caldaie a combustibili fossili, la Pompa di Calore.
Essa rappresenta ad oggi il fulcro tecnologico dell'impiantistica sostenibile. Sfruttando un ciclo termodinamico inverso, queste macchine sottraggono energia termica gratuita dall'ambiente esterno (aria, acqua o terreno) per trasferirla all'interno dell'abitazione in fase invernale e, viceversa, nella fase estiva. Con 1 kWh (chilowattora) di energia elettrica consumata, una pompa di calore moderna è in grado di restituirne da 3 a 5 sotto forma di energia termica (COP/EER elevati), riducendo drasticamente le emissioni di CO_2 in atmosfera anche se ci sarebbe da chiedersi parallelamente in quale modo venga prodotta l'energia elettrica necessaria al loro funzionamento, perché se essa derivasse dalle vecchie centrali dell'ENEL, il guadagno per l'ambiente non sarebbe poi così tangibile come auspicato.
Non si può non considerare, come soluzione ponte per edifici non completamente efficienti, l'utilizzo di Sistemi Ibridi (pompa di calore + caldaia a condensazione) in cui si effettui l'ottimizzazione automatica della fonte più conveniente, con particolare riferimento alla temperatura esterna.
Considerando poi che l'efficienza di una pompa di calore (o di una caldaia a condensazione) è massima quando la differenza di temperatura tra la sorgente esterna e il fluido di mandata è minima, la scelta quasi esclusiva di questa tecnologia comporta l'adozione di impianti a bassa temperatura quali:
- Pannelli radianti a pavimento o a soffitto (raramente a parete). Lavorano di massima con acqua a 30-35 °C in riscaldamento e 15-18 °C in raffrescamento ed offrono efficienza energetica, comfort termico ottimale e massima versatilità architettonica, rappresentando una tecnologia chiave sia per le nuove costruzioni che per le riqualificazioni. Sono stati sviluppati sistemi a bassa inerzia e basso spessore che consentono una rapida messa a regime e si integrano bene con edifici efficienti.

- Ventilconvettori (Fan Coils) idronici di ultima generazione, ma anche sistemi VRV (o VRF). Dotati di motori inverter a bassissimo consumo, sono ideali per la deumidificazione estiva e per risposte termiche rapide.
Analoga impiantistica anche per l'Acqua Calda Sanitaria (ACS) che, nelle nuove case rispettose della Direttiva Case Green, rappresenterà una quota percentuale sempre più significativa nel bilancio energetico. In questo caso le soluzioni sostenibili prevedono:
- Pompe di calore dedicate (Scaldacqua in pompa di calore) che sono sistemi compatti con serbatoio d'accumulo integrato, ottimizzati per scaldare l'acqua fino a 55-60 °C sfruttando l'aria interna o esterna
- Integrazione con pannelli solari termici che sono una tecnologia matura, già ampiamente usata, che azzera i consumi per la produzione di ACS nei mesi caldi e supporta l'impianto nei periodi invernali
Ovviamente, i consumi elettrici per riscaldamento, raffrescamento e ACS e anche per gli usi interni della casa trovano la loro massima espressione quando l'elettricità è prodotta in loco da un impianto fotovoltaico. I moderni sistemi di gestione energetica permettono di concentrare i carichi termici (come l'innalzamento della temperatura dell'accumulo ACS o il preriscaldamento tecnico della casa) nelle ore centrali della giornata, sfruttando al massimo l'energia solare diretta ed evitando i prelievi dalla rete elettrica nazionale.
In questo possono essere di ausilio anche sistemi di automazione e controllo dell'edificio (BACS) che utilizzano algoritmi predittivi basati sulle previsioni meteo e sulle abitudini degli utenti. Regolando la temperatura di mandata dell'acqua in base alla temperatura esterna reale e dinamica (curva climatica), la domotica evita pendolamenti termici e sprechi energetici, assicurando che ogni stanza riceva solo l'energia strettamente necessaria.

Conclusioni

L'attuale progettazione impiantistica ha ampiamente dimostrato che efficienza energetica, comfort, e sostenibilità non sono requisiti in antitesi, ma costituiscono obiettivi mutuamente raggiungibili attraverso l'innovazione tecnologica suggeritaci anche dalle attuali normative.
Affrontare i cambiamenti climatici richiede un approccio globale in cui il sistema edificio-impianto debba essere considerato come un'unità inscindibile. L'adozione di pompe di calore alimentate da fonti rinnovabili, abbinata a sistemi di distribuzione radiante e ventilazione meccanica controllata, permette di trasformare le nostre abitazioni da centri di consumo passivo a nodi attivi e resilienti della transizione energetica globale. Il risultato è un microclima interno ottimale tutto l'anno, bollette drasticamente ridotte e la tendenza ad azzerare totalmente le emissioni di CO_2 degli edifici, tenuto conto che la recente Direttiva Case Green prevede per il 2050 l'obiettivo della neutralità climatica, cioè tutti gli edifici esistenti dovranno raggiungere il traguardo di zero emissioni.

Impiantistica e transizione ecologica: l’evoluzione del quadro normativo legislativo nazionale e regionale (regione Emilia-Romagna)

Laurent Roberto Socal ed Emanuele Barogi

1. Introduzione: dal contenimento dei consumi alla decarbonizzazione

La disciplina energetica degli edifici è passata, in poco più di trent’anni, da un’impostazione centrata sul contenimento del fabbisogno termico invernale a un sistema integrato che considera involucro, impianti, fonti rinnovabili, automazione per tutti i servizi di benessere degli edifici e, in prospettiva, mobilità elettrica ed impatto climatico dell’intero ciclo di vita. La Legge 10/1991 rappresentava già un ordinamento organico del settore, ma la successiva europeizzazione della materia ha trasformato il progetto energetico in una verifica multilivello, fondata su prestazioni normalizzate e su un edificio di riferimento. Il nuovo quadro non può essere letto come una semplice sequenza di limiti numerici. La conformità dipende anzitutto dalla corretta classificazione dell’intervento. Una medesima opera — ad esempio un cappotto parziale, la sostituzione di serramenti o la modifica del sistema di generazione — può ricadere in regimi differenti in funzione della percentuale di superficie disperdente interessata, dell’estensione dell’intervento impiantistico, della configurazione giuridica dell’edificio e della presenza di ampliamenti. L’errore di inquadramento produce verifiche superflue o, al contrario, omissioni sostanziali.

Il D.M. 28 ottobre 2025 interviene su questo sistema senza sostituirne l’architettura generale. Esso aggiorna il decreto del 26 giugno 2015, ma introduce modifiche decisive: distingue con maggiore nettezza la sezione corrente dai contributi dei ponti termici; rimodula le verifiche per il primo e il secondo livello; disciplina in modo più preciso gli ampliamenti minori; aggiorna l’edificio di riferimento; integra requisiti relativi a BACS, mobilità elettrica, trattamento dell’acqua e sistemi tecnici. Il decreto è entrato in vigore il 3 giugno 2026.

Il D.Lgs. 5/2026 opera su un piano diverso ma strettamente connesso. Modificando il D.Lgs. 199/2021, estende le quote rinnovabili agli interventi sull’esistente e rende l’integrazione FER una variabile anche per opere che, nella loro essenza materiale, possono riguardare il solo involucro. Da qui deriva una delle principali tensioni del sistema: il titolo energetico dell’intervento è definito da opere edilizie, mentre il soddisfacimento dell’obbligo può richiedere la modifica di impianti o l’installazione di fotovoltaico.

In Emilia-Romagna il quadro è ulteriormente articolato. La Regione esercita la propria competenza mediante l’Atto di coordinamento tecnico, aggiornato dalla DGR 792/2026. Il professionista deve pertanto confrontare il testo nazionale con la disciplina regionale e applicare, nei limiti costituzionali e temporali, il requisito regionale pertinente. La sovrapposizione delle decorrenze del 3 giugno e del 3 agosto 2026 impone particolare attenzione ai titoli edilizi presentati nelle fasi di transizione.

2. Il quadro europeo: EPBD IV e RED III

2.1 La Direttiva (UE) 2024/1275

La Direttiva (UE) 2024/1275, rifusione della disciplina sulla prestazione energetica nell’edilizia, assume come obiettivo un parco immobiliare a emissioni zero entro il 2050. La direttiva non si limita ai nuovi edifici: comprende requisiti minimi per edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti, elementi dell’involucro rinnovati o sostituiti, sistemi tecnici installati o migliorati, norme minime di prestazione, energia solare, mobilità sostenibile, automazione, certificazione e qualità degli ambienti interni.

L’edificio a emissioni zero non coincide con un edificio energeticamente autosufficiente in ogni ora dell’anno. La definizione europea combina un fabbisogno molto basso, l’assenza di emissioni in loco da combustibili fossili e un livello nullo o molto basso di emissioni operative di gas serra. È quindi compatibile, entro i limiti della metodologia, con l’importazione di energia elettrica dalla rete. La nozione sposta il baricentro dalla sola compensazione annuale verso la qualità dell’involucro, la flessibilità della domanda e la progressiva decarbonizzazione dei vettori.

Un punto da trattare con cautela riguarda gli edifici esistenti. La direttiva impone agli Stati traiettorie, piani e standard, ma non introduce un identico obbligo di ristrutturazione per ogni singolo immobile residenziale né un divieto europeo generalizzato di vendita o locazione. Gli effetti sul proprietario dipenderanno dal recepimento nazionale. È quindi improprio presentare la direttiva come un automatismo che obbliga ogni edificio italiano a raggiungere una classe prestabilita entro una data unica, fermo restando che vi è l’obbligo generalizzato di intervenire sugli edifici esistenti per portarli tutti al livello di zero emissioni entro il 2050.

2.2 La Direttiva RED III e l'integrazione delle rinnovabili

La Direttiva (UE) 2023/2413, comunemente indicata come RED III, rafforza la promozione delle fonti rinnovabili e richiede agli Stati di favorirne l'integrazione negli edifici e nelle ristrutturazioni importanti. Il recepimento italiano mediante D.Lgs. 5/2026 modifica la disciplina degli obblighi minimi, estendendola a tipologie di intervento che in precedenza non erano assoggettate alle medesime quote.

EPBD e RED perseguono obiettivi complementari ma non sovrapponibili. La prima riduce la domanda e migliora la prestazione complessiva; la seconda incrementa la quota rinnovabile dell'energia utilizzata. L'ordine razionale resta quello dell'energy efficiency first: ridurre i fabbisogni, abbassare le temperature di esercizio, scegliere sistemi efficienti e integrare la produzione rinnovabile. Un edificio con consumi elevati non diventa automaticamente sostenibile per la sola presenza di un impianto fotovoltaico sovradimensionato.

Direttiva	Oggetto prevalente	Effetto sul progetto
EPBD IV	Prestazione energetica, emissioni, ristrutturazione del parco, automazione e certificazione	Riduzione dei fabbisogni e progressivo passaggio agli edifici a emissioni zero
RED III	Promozione e integrazione delle fonti rinnovabili	Quote FER termiche ed elettriche anche negli interventi sull'esistente
EED III	Efficienza energetica generale e principio energy efficiency first	Priorità alla riduzione della domanda prima dell'incremento dell'offerta energetica

3. Il quadro nazionale

3.1 La struttura del sistema italiano

Il D.Lgs. 192/2005 costituisce il quadro legislativo nazionale. I decreti attuativi definiscono metodologie, prescrizioni e requisiti minimi. Il D.M. 28 ottobre 2025 aggiorna il decreto del 2015, mentre il D.Lgs. 199/2021, come modificato dal D.Lgs. 5/2026, disciplina gli obblighi rinnovabili. I due corpi normativi devono essere applicati congiuntamente: la conformità ai requisiti minimi non assorbe quella alle FER e viceversa.

L'articolazione per fonti determina una pluralità di documenti progettuali. La relazione tecnica energetica deve dimostrare le verifiche di involucro e impianto; il progetto degli impianti deve risultare coerente con le prestazioni assunte; la documentazione dei prodotti deve consentire il controllo delle trasmittanze, dei rendimenti e delle caratteristiche di regolazione; gli elaborati architettonici devono rendere riconoscibile il perimetro dell'intervento. Nei casi complessi la sola stampa del software non è sufficiente a spiegare la logica di inquadramento.

3.2 Decorrenze e disciplina transitoria

Fonte	Pubblicazione/ approvazione	Decorrenza principale
D.M. 28 ottobre 2025	G.U. 5 dicembre 2025	3 giugno 2026
D.Lgs. 9 gennaio 2026, n. 5	G.U. 20 gennaio 2026	effetti generali secondo il decreto; nuovi obblighi edilizi FER dal 3 agosto 2026
DGR Emilia-Romagna 792/2026	25 maggio 2026; BURERT 5 giugno 2026	3 giugno 2026 per il recepimento del D.M.; 3 agosto 2026 per le modifiche FER indicate

La disciplina transitoria deve essere verificata sulla data di richiesta o presentazione del titolo edilizio, non sulla data di ultimazione dei lavori. La DGR 792/2026 precisa che le modifiche in recepimento del D.M. non si applicano ai titoli richiesti o presentati entro il 2 giugno 2026 e che le modifiche connesse al D.Lgs. 5/2026 non si applicano ai titoli richiesti o presentati entro il 2 agosto 2026. Per gli interventi privi di titolo espresso occorre individuare il momento amministrativamente equivalente secondo la disciplina applicabile.

4. Il D.M. 28 ottobre 2025: struttura e principi

Il decreto sostituisce gli allegati tecnici del 2015 e conserva il modello dell'edificio di riferimento. Le modifiche più significative non sono soltanto numeriche, ma metodologiche. Il nuovo testo cerca di correggere alcune rigidità emerse in dieci anni di applicazione, specialmente nella verifica dei ponti termici e nella distinzione tra riqualificazione e ristrutturazione importante.

4.1 Principali innovazioni

- uso più esplicito delle dimensioni esterne lorde nelle verifiche dell'involucro;
-nuova disciplina dei ponti termici nell'edificio di riferimento e nelle ristrutturazioni di secondo livello;
- verifica della trasmittanza della sezione corrente negli interventi di riqualificazione;
- rimodulazione dell'H'T per le ristrutturazioni importanti di primo livello in funzione della zona climatica e della quota vetrata;
- precisazioni sugli ampliamenti inferiori al 15 per cento o a 500 m³;
- semplificazioni documentali per la mera sostituzione dei serramenti;
- aggiornamento delle prescrizioni su condensa, trattamento dell'acqua, BACS, regolazione e infrastrutture di ricarica;
- integrazione dei servizi energetici rilevanti, compreso il trasporto di persone negli edifici non residenziali nei casi previsti.

4.2 Il principio di proporzionalità dell'obbligo

Nel sistema dei requisiti minimi, l'estensione della verifica dovrebbe essere proporzionata all'estensione dell'intervento. La riqualificazione verifica l'elemento o il sistema effettivamente modificato; il secondo livello considera l'involucro interessato e i ponti termici correlati; il primo livello estende la verifica all'intero edificio mediante l'edificio di riferimento e l'H'T. Questo principio evita che un intervento limitato si trasformi in un obbligo generale di adeguamento dell'immobile, salvo prescrizioni espressamente aggiuntive.

La proporzionalità non è però assoluta. Alcuni requisiti impiantistici o rinnovabili possono essere attivati dalla classificazione dell'intervento e richiedere opere ulteriori. La relazione tecnica deve quindi indicare non solo quali elementi sono verificati, ma anche quali obblighi indiretti scaturiscono dall'inquadramento complessivo.

5. Classificazione degli interventi e perimetro delle verifiche

5.1 Nuova costruzione e assimilazioni

Rientrano nel regime della nuova costruzione gli edifici di nuova realizzazione e le fattispecie espressamente assimilate. Gli ampliamenti di volume climatizzato superiori alle soglie normative sono trattati secondo tale regime per la parte nuova o secondo le specifiche disposizioni. La demolizione e ricostruzione resta una categoria da verificare anche rispetto alla normativa edilizia, ma ai fini energetici è normalmente assoggettata ai requisiti più completi.

5.2 Ristrutturazione importante di primo livello

Il primo livello richiede l'interessamento di oltre il 50 per cento della superficie disperdente lorda e la ristrutturazione dell'impianto termico dell'intero edificio. La congiunzione dei due requisiti è essenziale: un cappotto esteso senza la contestuale ristrutturazione dell'intero impianto non diventa automaticamente primo livello. In tale categoria il controllo assume carattere globale e comprende gli indici prestazionali dell'edificio, l'H'T e i requisiti impiantistici pertinenti.

5.3 Ristrutturazione importante di secondo livello

Il secondo livello si configura quando l'intervento interessa oltre il 25 per cento della superficie disperdente lorda, senza ricadere nel primo livello. Il nuovo decreto elimina l'H'T come verifica tipica del secondo livello e concentra il controllo sulle strutture oggetto di intervento, includendo i ponti termici secondo il metodo e i valori di riferimento dell'Allegato B. Gli eventuali interventi impiantistici sono verificati secondo le prescrizioni proprie della riqualificazione o della specifica sostituzione.

5.4 Riqualificazione energetica

La riqualificazione riguarda interventi che interessano una quota non superiore al 25 per cento della superficie disperdente o singoli componenti dell'involucro e degli impianti. Il D.M. 2025 chiarisce che la verifica della trasmittanza dell'elemento opaco è riferita alla sezione corrente, senza inglobare i ponti termici nel valore limite. Ciò non elimina l'obbligo di valutare i ponti termici nelle verifiche igrotermiche e di evitare fenomeni di muffa o condensazione.

Categoria	Soglia/condizione essenziale	Perimetro prevalente
Nuova costruzione	nuovo edificio o fattispecie assimilata	verifica completa mediante edificio di riferimento e requisiti specifici
Primo livello	>50% involucro + ristrutturazione impianto dell'intero edificio	intero edificio
Secondo livello	>25% involucro, senza condizioni del primo livello	elementi interessati e ponti termici correlati
Riqualificazione	≤25% involucro o singoli componenti/ sistemi	solo elementi o sistemi oggetto di intervento

5.5 Superficie disperdente e soggetti giuridici

La determinazione della percentuale di superficie disperdente è uno dei passaggi più delicati. Deve essere definito il denominatore coerente con l'unità di analisi: edificio, porzione o unità immobiliare. Nei condomìni e negli edifici con più soggetti giuridici, la normativa contiene precisazioni che mirano a evitare l'estensione indiscriminata della verifica a parti non nella disponibilità del soggetto che interviene. Tuttavia, la lettura deve distinguere il calcolo della percentuale che qualifica l'intervento dalla verifica prestazionale degli elementi effettivamente

interessati. In termini operativi, è opportuno allegare alla relazione una tabella delle superfici ex ante, con identificazione delle strutture opache e trasparenti, e una seconda tabella delle superfici oggetto di intervento. L'inclusione delle finestre nel numeratore è necessaria quando esse sono effettivamente sostituite o modificate nell'ambito dell'intervento considerato; non è corretto limitare il numeratore al solo cappotto se si interviene contemporaneamente sui serramenti.

6. Involucro, trasmittanze, ponti termici e indicatore H'T

6.1 La sezione corrente

La sezione corrente rappresenta la porzione omogenea dell'elemento edilizio lontana dalle discontinuità geometriche e materiche. Nella riqualificazione il confronto con il limite avviene sulla trasmittanza di questa sezione. La scelta corregge l'impostazione che, in alcune applicazioni regionali o interpretative, tendeva a imporre un valore comprensivo dei ponti termici anche per opere limitate. La verifica sulla sezione corrente non autorizza soluzioni tecnicamente scorrette nei nodi. Un cappotto conforme nel campo della parete può generare temperature superficiali insufficienti presso pilastri, balconi o imbotti. La progettazione deve quindi affiancare alla verifica legale un controllo fisico dei nodi e, quando necessario, la valutazione bidimensionale secondo le norme tecniche pertinenti.

6.2 I ponti termici nel secondo livello

Nel secondo livello il confronto include i ponti termici associati agli elementi oggetto di intervento. Il nuovo Allegato B propone valori di riferimento differenziati in funzione della posizione dell'isolante - esterno, interno o in intercapedine - e della tipologia di nodo. Il criterio è prestazionale: la dispersione complessiva dell'insieme parete-nodi deve risultare non superiore a quella ottenibile mediante la trasmittanza limite della sezione corrente e i ponti termici di riferimento. Questa impostazione è più realistica del semplice confronto con una trasmittanza media univoca, ma richiede una rappresentazione geometrica coerente. L'uso di dimensioni interne o esterne deve seguire le indicazioni dell'allegato e del metodo di calcolo, evitando doppie contabilizzazioni. La documentazione dovrebbe riportare lunghezze, coefficienti lineici, segno convenzionale e corrispondenza tra nodo reale e nodo di riferimento.

6.3 H'T nelle ristrutturazioni di primo livello

L'indicatore H'T esprime il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro. Nel primo livello il valore limite dipende dalla zona climatica e dalla percentuale di superficie vetrata. La modifica riconosce che un edificio con elevata quota trasparente presenta una struttura delle dispersioni differente da un edificio prevalentemente opaco.

La verifica deve essere eseguita sull'unità di analisi prevista dalla norma, utilizzando superfici disperdenti lorde e includendo i contributi pertinenti. Nei casi di edifici composti da unità appartenenti a soggetti diversi, il progettista deve motivare l'estensione del calcolo e il rapporto tra involucro complessivo e porzione interessata. Non è corretto assimilare automaticamente ogni intervento condominiale a una nuova costruzione dell'intero edificio.

Intervento	Verifica della sezione corrente	Ponti termici nel limite	H'T
Riqualificazione	Sì	No, salvo verifiche igrotermiche e progettuali	No
Secondo livello	Sì	Sì, secondo Allegato B	No
Primo livello	Compresa nel sistema complessivo	Sì nel calcolo globale	Sì
Nuova costruzione	Compresa nel sistema complessivo	Sì, anche mediante edificio di riferimento	Sì e indici globali

7. Edificio di riferimento e conseguenze sulla verifica e sull'APE

L'edificio di riferimento è un edificio virtuale avente geometria, orientamento, destinazione d'uso e condizioni al contorno dell'edificio reale, ma caratteristiche termo-fisiche e impiantistiche convenzionali. Il confronto consente di definire limiti adattivi, sensibili alla forma e all'uso. Il D.M. 2025 aggiorna le caratteristiche del riferimento, includendo specifici ponti termici ritenuti difficilmente eliminabili. L'introduzione di ponti termici nel riferimento aumenta, a parità degli altri parametri, il fabbisogno del riferimento stesso. Ne deriva un possibile miglioramento relativo della classe o dell'esito del confronto per l'edificio reale. Non si tratta però di un bonus uniforme: l'effetto dipende dalla geometria, dalla distribuzione dei nodi, dai servizi e dalle prestazioni impiantistiche. È pertanto più corretto affermare che il nuovo riferimento può rendere il confronto relativamente meno penalizzante in alcune configurazioni. Sul piano della certificazione energetica regionale, l'adozione del nuovo riferimento richiede software aggiornati e tracciati informatici coerenti. In Emilia-Romagna il sistema SACE deve recepire le nuove disposizioni senza confondere il quadro dei requisiti minimi con quello della certificazione. Il professionista deve verificare la versione del motore di calcolo e conservare gli elementi che consentono la riproducibilità dell'APE. Un tema metodologico rilevante è la separazione tra conformità di progetto e classificazione. L'edificio può rispettare i requisiti minimi senza raggiungere una classe particolarmente elevata, e viceversa una buona classe non dimostra da sola la conformità di ogni requisito puntuale. La relazione tecnica e l'APE rispondono a finalità differenti e non sono intercambiabili.

8. Ampliamenti, recuperi e cambi di destinazione d'uso

8.1 Ampliamenti minori

Il nuovo decreto precisa che gli ampliamenti inferiori al 15 per cento del volume lordo climatizzato esistente o comunque inferiori a 500 m³ non sono trattati come nuova costruzione. A essi si applicano, in funzione delle opere, i criteri delle riqualificazioni o delle ristrutturazioni importanti. La disposizione evita che piccoli recuperi volumetrici attivino automaticamente tutte le verifiche globali della nuova costruzione. Il criterio deve essere applicato con attenzione alla configurazione impiantistica. In presenza di riscaldamento centralizzato il confronto volumetrico è riferito all'intero edificio; con impianto autonomo può assumere rilievo la singola unità immobiliare. Questa distinzione è decisiva nei recuperi di sottotetto e nelle trasformazioni di locali accessori. Se l'ampliamento minore non comporta interventi sull'involucro esistente, non discende un obbligo generale di adeguamento delle strutture non toccate. La parte nuova e gli impianti modificati devono rispettare le prescrizioni applicabili. Qualora l'intervento interessi anche pareti o coperture esistenti, quelle superfici entrano nel perimetro della verifica secondo la categoria complessiva.

8.2 Recupero di sottotetti e volumi esistenti

Il recupero di un volume esistente non climatizzato non coincide necessariamente con un ampliamento geometrico, ma può produrre un aumento del volume climatizzato. La corretta qualificazione dipende dal testo normativo e dalla natura edilizia dell'opera. Dal punto di vista energetico è essenziale distinguere la nuova superficie disperdente verso l'esterno dalle strutture preesistenti non modificate.

Un'impostazione coerente con il principio di proporzionalità consiste nel verificare gli elementi che delimitano il nuovo volume climatizzato e i sistemi impiantistici che lo servono, senza imporre l'adeguamento delle parti dell'edificio esistente non interessate, salvo che la percentuale di involucro modificato determini una ristrutturazione importante.

8.3 Cambio di destinazione d'uso

Il mero cambio di destinazione d'uso non è equiparato alla nuova costruzione. Le verifiche sono attivate dagli interventi realizzati e dalle conseguenze energetiche del nuovo uso. Il passaggio da ambiente non climatizzato a climatizzato, la modifica dei profili d'uso, l'introduzione di ACS o ventilazione e la ristrutturazione dell'impianto possono tuttavia generare obblighi specifici. La relazione deve rappresentare lo stato ex ante e quello ex post, evitando di attribuire alla sola variazione catastale effetti non previsti.

9. Obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili

9.1 La logica delle quote

Gli obblighi FER comprendono quote rinnovabili e potenze elettriche minime. La verifica della quota rinnovabile considera la copertura dei fabbisogni dei servizi indicati dalla norma mediante energia rinnovabile, inclusa la quota ambientale delle pompe di calore nei limiti del metodo. La potenza fotovoltaica minima è correlata alla superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno, non alla superficie utile climatizzata. Il D.Lgs. 5/2026 differenzia le soglie per tipologia di intervento. La nuova costruzione è sottoposta al requisito più elevato di potenza fotovoltaica; demolizione e ricostruzione, ristrutturazione integrale e interventi sull'esistente assumono coefficienti differenti. Le ristrutturazioni importanti e la ristrutturazione dell'impianto sono assoggettate, dal 3 agosto 2026, a quote che prima non operavano nello stesso modo.

Tipologia nazionale	Quota rinnovabile sintetica	Potenza FV minima indicativa
Nuova costruzione	60% ACS e 60% complessiva dei servizi previsti	$P = 0{,}05 \cdot S$
Demolizione e ricostruzione	60% ACS e 60% complessiva	$P = 0{,}025 \cdot S$
Ristrutturazione integrale >1.000 m²	60% ACS e 60% complessiva	$P = 0{,}025 \cdot S$
Ristrutturazione importante di primo livello	40% ACS e 40% complessiva	$P = 0{,}025 \cdot S$
Ristrutturazione importante di secondo livello	15% dei servizi H+C secondo il testo applicabile	$P = 0{,}025 \cdot S$
Ristrutturazione dell'impianto termico	15% dei servizi H+C secondo il testo applicabile	$P = 0{,}025 \cdot S$

La tabella ha funzione ricostruttiva e deve essere confrontata con il testo vigente e con le eventuali disposizioni regionali più restrittive. I simboli dei servizi e le modalità di calcolo devono essere coerenti con l'Allegato III del D.Lgs. 199/2021 come modificato.

9.2 Pompe di calore e quota rinnovabile

La pompa di calore utilizza energia ambientale rinnovabile solo quando l'efficienza stagionale supera la soglia prevista dalla metodologia. La quota rinnovabile non coincide con l'intera energia termica erogata: deve essere sottratta l'energia di alimentazione, valorizzata secondo i fattori pertinenti. In presenza di rete elettrica nazionale e di produzione fotovoltaica, la verifica deve rispettare le regole di allocazione temporale e il divieto di compensazione impropria tra mesi o vettori.

Il raggiungimento del 60 per cento senza fotovoltaico non è impossibile in assoluto, ma può essere difficile per la produzione di ACS, per impianti ad alta temperatura e per sistemi con ausiliari rilevanti. La valutazione deve essere eseguita sui rendimenti stagionali di progetto calcolati con le specifiche UNI-TS 11300 e non sul COP nominale o SCOP di catalogo. Un COP elevato in una singola condizione o lo SCOP non dimostrano il soddisfacimento annuale nel caso specifico.

9.3 Produzione, autoconsumo e copertura reale

La produzione annuale di un impianto fotovoltaico non può essere automaticamente compensata con consumi invernali avvenuti in ore o mesi differenti. Il principio Kexp=0 impedisce di considerare l'energia esportata per compensare fabbisogni successivi o di altri vettori energetici. La distinzione tra compensazione e copertura è centrale: un bilancio annuale pari a zero in termini di compensazione può convivere con un autoconsumo reale modesto e con rilevanti prelievi dalla rete.

L'accumulo elettrico aumenta la copertura giornaliera, mentre l'accumulo termico e l'inerzia dell'edificio possono spostare i carichi. L'accumulo stagionale resta invece problematico e non è risolto dalle batterie ordinarie. Per questo la norma tende a valorizzare flessibilità, regolazione e gestione dei carichi, non soltanto la potenza installata.

9.4 Condomini e impianti autonomi

L'applicazione degli obblighi FER alle singole unità in condominio è una delle questioni più complesse. Il tetto è parte comune e la sua disponibilità fisica è limitata; l'intervento di un singolo non può sempre garantire la potenza richiesta. Le configurazioni di autoconsumo collettivo e condivisione dell'energia rappresentano una soluzione, ma richiedono decisioni condominiali, regole di attribuzione e infrastrutture di misura. Non è corretto affermare in termini assoluti che senza fotovoltaico dedicato la quota non sia raggiungibile. Tuttavia, in molti casi reali il contributo della sola pompa di calore non è sufficiente, soprattutto per ACS. È quindi necessario che il legislatore chiarisca se e come l'obbligo della singola unità possa essere soddisfatto mediante impianti comuni o energia condivisa oppure si esentino da requisiti di potenza fotovoltaica installata e quota rinnovabile gli impianti autonomi in edifici condominiali.

10. La DGR Emilia-Romagna 792/2026

La DGR 792/2026 approva le modifiche all'Atto di coordinamento tecnico regionale di cui alla DGR 967/2015. Il provvedimento recepisce il D.M. 28 ottobre 2025 e coordina le novità introdotte dal D.Lgs. 5/2026. L'Atto regionale costituisce il riferimento operativo per i progetti in Emilia-Romagna, fermo il rispetto delle fonti statali e dei principi europei.

10.1 Decorrenze regionali

La delibera distingue due fasi. Le modifiche collegate al D.M. sono efficaci dal 3 giugno 2026 e non si applicano ai titoli presentati entro il 2 giugno. Le modifiche in recepimento del D.Lgs. 5/2026, espressamente elencate, entrano in vigore il 3 agosto 2026 e non si applicano ai titoli presentati entro il 2 agosto. Tale distinzione deve essere riportata nelle relazioni relative al periodo transitorio.

10.2 Requisiti regionali più restrittivi

L'Emilia-Romagna mantiene per la nuova costruzione quote rinnovabili complessive superiori al minimo nazionale, con valori dell'80 per cento per i servizi indicati. Per gli interventi sull'esistente, il quadro regionale recepisce le nuove soglie e conserva specificità, tra cui il trattamento dell'ACS nella ristrutturazione dell'impianto. Il progettista deve utilizzare una tabella regionale aggiornata, evitando di applicare automaticamente la sintesi nazionale. *2 Pompe di calore e*

Intervento in Emilia-Romagna	Obbligo sintetico	Decorrenza da verificare
Nuova costruzione	W ≥ 80%; W+H+C ≥ 80%	requisiti regionali già vigenti secondo l'Atto aggiornato
Primo livello	W ≥ 40%; W+H+C ≥ 40%	3 agosto 2026 per le nuove soglie collegate al D.Lgs. 5/2026
Secondo livello	H+C ≥ 15%	3 agosto 2026
Ristrutturazione impianto	W ≥ 50%; H+C ≥ 15%	decorrenze distinte da verificare nel testo regionale

Le tabelle divulgative devono indicare con chiarezza la decorrenza di ogni singola riga. Una data isolata a margine può creare l'errata impressione che tutti gli obblighi inizino contemporaneamente. È inoltre necessario distinguere le quote FER dall'eccezione relativa all'uso dell'effetto Joule e dalla classificazione energetica richiesta.

10.3 Il problema dei ponti termici nella riqualificazione

Nel coordinamento regionale è emersa una possibile tensione tra disposizioni che richiamano limiti comprensivi dei ponti termici e la struttura del D.M. nazionale, che per la riqualificazione richiede la trasmittanza della sezione corrente. L'interpretazione sistematica più coerente è distinguere: sezione corrente per il limite di trasmittanza nella riqualificazione; ponti termici per le verifiche igrotermiche e per il secondo livello. Un chiarimento regionale formale sarebbe opportuno per evitare richieste difformi.

11. Impianti, BACS, regolazione e ricarica elettrica

11.1 Ristrutturazione dell'impianto termico

La definizione di ristrutturazione dell'impianto termico rimane determinante perché attiva requisiti più estesi e, dal 2026, obblighi FER. Il nuovo decreto utilizza il concetto di modifica sostanziale dei sottosistemi. La nozione deve essere letta nel quadro del D.Lgs. 192/2005: non ogni sostituzione di generatore contribuisce a determinare una ristrutturazione e sono necessari la modifica sostanziale di generazione e distribuzione o emissione per integrarla.

Il passaggio da una caldaia tradizionale a una caldaia a condensazione, senza modifica sostanziale degli altri sottosistemi, si qualifica come sostituzione del generatore (riqualificazione) e non come ristrutturazione dell'intero impianto. Diverso è il passaggio a pompa di calore con modifica delle temperature, dei terminali e della distribuzione. La relazione deve descrivere concretamente i sottosistemi coinvolti, evitando etichette automatiche.

11.2 BACS

Il D.M. aggiorna gli obblighi relativi ai sistemi di automazione e controllo negli edifici non residenziali con impianti di potenza superiore a 290 kW, prevedendo la classe B o superiore quando tecnicamente ed economicamente fattibile e con tempo di ritorno entro il limite indicato. La disposizione presenta dubbi applicativi per gli edifici esistenti non oggetto di lavori, anche a causa della collocazione sistematica e del termine di 180 giorni.

La potenza da considerare è, in linea generale, la potenza nominale utile dei sistemi tecnici e non il solo assorbimento elettrico. Per pompe di calore reversibili, chiller modulari e sistemi misti resta necessario un chiarimento sul criterio di aggregazione e sulla scelta tra potenza termica invernale ed estiva. La verifica di convenienza non può essere ridotta a un fattore generico: richiede profili d'uso, risparmi realistici, costi di investimento e manutenzione.

11.3 Regolazione per ambiente

In caso di sostituzione del generatore, la regolazione per singolo ambiente è richiesta nei casi e nei limiti di fattibilità economica previsti. Il requisito deve essere coordinato con la tipologia di emissione, con gli impianti a portata variabile e con gli edifici nei quali la regolazione locale è già presente. Non è sufficiente installare dispositivi senza bilanciamento e corretta taratura: l'efficienza dipende dall'interazione tra sensori, attuatori, curve climatiche e generatore.

11.4 Infrastrutture di ricarica

Il nuovo Allegato 2 integra le prescrizioni per le infrastrutture di ricarica dei veicoli elettrici, distinguendo edifici residenziali e non residenziali e parcheggi pubblici o privati. Gli obblighi possono riguardare predisposizione, canalizzazioni, punti di ricarica e scadenze per edifici esistenti. Devono essere verificate le esclusioni, le soglie dei posti auto, la titolarità delle aree e le specifiche disposizioni regionali.

Per alberghi e strutture ricettive la classificazione energetico-edilizia non deve essere ricavata intuitivamente dalla presenza di camere. Tali edifici rientrano normalmente nel non residenziale ai fini delle categorie d'uso, salvo specifiche assimilazioni testuali. Le esclusioni per piccole e medie imprese e l'analisi costi-benefici devono essere lette nella disposizione esatta applicabile, senza estenderle oltre il loro ambito.

12. Casi applicativi e schemi decisionali

12.1 Cappotto e serramenti in condominio

Si consideri un edificio condominiale nel quale una parte delle facciate e alcuni serramenti sono oggetto di intervento. Il primo passaggio è calcolare la superficie disperdente lorda ex ante dell'unità di analisi. Nel numeratore devono essere inserite tutte le superfici effettivamente interessate: pareti e serramenti. Se la percentuale supera il 25 per cento, l'intervento può essere di secondo livello; se resta inferiore o uguale, si tratta di riqualificazione, salvo ulteriori opere. Nel caso di soggetti giuridici differenti, la verifica prestazionale deve essere riferita alle parti oggetto di intervento e nella disponibilità del soggetto interessato, secondo le precisazioni normative. Non è corretto verificare l'intero edificio come nuova costruzione. Nel secondo livello, tuttavia, i ponti termici connessi alle superfici isolate devono essere considerati.

12.2 Recupero di sottotetto inferiore alle soglie

Un sottotetto esistente viene reso abitabile con aumento del volume climatizzato inferiore al 15 per cento e a 500 m³. Non si applica automaticamente il regime della nuova costruzione. Le nuove strutture disperdenti e le porzioni modificate devono rispettare le prescrizioni della categoria pertinente; l'involucro preesistente non toccato non deve essere adeguato per il solo effetto del recupero. L'impianto a servizio del nuovo volume deve essere verificato, distinguendo ampliamento dell'impianto, nuova zona e ristrutturazione.

12.3 Secondo livello con impianto autonomo

Una singola unità immobiliare realizza un intervento che supera il 25 per cento dell'involucro di riferimento, ma non modifica l'impianto. Dal 3 agosto 2026 può essere attivato l'obbligo FER previsto per il secondo livello. Nasce così la necessità di dimostrare una quota rinnovabile pur in assenza di un intervento impiantistico originariamente programmato. La soluzione può richiedere pompa di calore, biomassa, solare termico o fotovoltaico, con problemi di disponibilità del tetto condominiale.

12.4 Sostituzione di caldaia con pompa di calore

La sostituzione di una caldaia con una pompa di calore non deve essere classificata soltanto in base al generatore. Occorre verificare se cambiano distribuzione, emissione, temperature e regolazione. Se il sistema esistente viene mantenuto e la modifica resta circoscritta alla generazione, può trattarsi di sostituzione del generatore; solo se la trasformazione coinvolge in modo sostanziale anche distribuzione ed emissione o regolazione , si configura la ristrutturazione dell'impianto con i relativi obblighi FER.

12.5 Schema decisionale sintetico

Domanda	Se sì	Se no
Si realizza un nuovo edificio o un ampliamento sopra soglia?	Regime nuova costruzione/ assimilato	Passare alla domanda successiva
Si interviene su oltre il 50% dell'involucro e si ristruttura l'impianto dell'intero edificio?	Primo livello	Passare alla domanda successiva
Si interviene su oltre il 25% dell'involucro?	Secondo livello	Riqualificazione o intervento impiantistico puntuale
Si modificano sostanzialmente più sottosistemi impiantistici?	Ristrutturazione impianto	Sostituzione/riqualificazione del singolo componente
Il titolo è successivo al 2 agosto 2026?	Applicare i nuovi obblighi FER pertinenti	Applicare il regime transitorio precedente, se ne ricorrono le condizioni

13. Criticità interpretative e proposte di chiarimento

13.1 Obblighi FER nel secondo livello

La principale criticità è l'imposizione di un requisito impiantistico a un intervento definito dall'involucro. La norma dovrebbe chiarire se l'obbligo opera sempre, anche quando l'impianto non è nella disponibilità del soggetto o quando l'accesso alle parti comuni è impossibile. Una soluzione ragionevole sarebbe ammettere modalità alternative, obblighi differiti o dimostrazioni di impossibilità tecnica e giuridica.

13.2 Fotovoltaico nei condomini

Il coefficiente di potenza applicato alla singola unità può generare una somma di obblighi superiore alla superficie disponibile. È necessario un criterio di ripartizione condominiale basato su superficie utile, millesimi, fabbisogno o quota di potenza comune. L'autoconsumo collettivo dovrebbe essere riconosciuto esplicitamente come modalità ordinaria di assolvimento.

13.3 BACS e potenza degli impianti

La disciplina dovrebbe specificare il parametro di potenza per pompe di calore, chiller e sistemi reversibili, il criterio di somma dei generatori e l'applicazione agli edifici esistenti non interessati da opere. Dovrebbe inoltre fornire un metodo nazionale per la valutazione economica, evitando che il professionista debba costruire modelli non omogenei.

13.4 Effetto Joule e classi energetiche

Le eccezioni per l'uso di energia elettrica rinnovabile mediante resistenze devono essere coordinate tra disciplina nazionale e regionale. È necessario chiarire se la classe richiesta debba essere determinata prima o dopo il contributo del sistema elettrico resistivo e come trattare piccoli utilizzi locali, ad esempio l'ACS di un lavello in ufficio. Un divieto assoluto può produrre soluzioni più complesse e meno efficienti di un piccolo apparecchio elettrico alimentato da rinnovabili.

13.5 Riqualificazione e ponti termici

La normativa nazionale distingue chiaramente la trasmittanza della sezione corrente nella riqualificazione dalla verifica comprensiva dei ponti termici nel secondo livello. Gli atti regionali e le FAQ dovrebbero riprodurre tale distinzione con esempi numerici. L'assenza di un chiarimento può portare a richieste di verifica C2 anche in interventi per i quali il decreto nazionale prevede la sola C1.

13.6 Ampliamenti minori

Per i recuperi inferiori alle soglie occorrono esempi ufficiali che distinguano: parte nuova, strutture esistenti modificate, strutture non toccate, impianto autonomo e impianto centralizzato. La formula "applicare i criteri delle riqualificazioni o delle ristrutturazioni importanti" deve essere tradotta in una sequenza operativa che impedisca letture estensive.

13.7 Proposte operative per la relazione tecnica

- Inserire una sezione iniziale di inquadramento normativo con data del titolo edilizio;
- Rappresentare graficamente l'unità di analisi e il perimetro dell'intervento;
- Allegare la tabella delle superfici disperdenti ex ante e delle superfici interessate;
- Distinguere verifiche della sezione corrente, ponti termici e H'T;
- Indicare separatamente obblighi minimi e obblighi FER;
- Documentare le ragioni di eventuali impossibilità tecniche, economiche o giuridiche;
- Riportare versioni dei software, norme tecniche e dati di prodotto utilizzati;
- Evitare formule generiche come "verificato dal software" senza esplicitare i parametri decisivi.

14. Conclusioni

Il quadro 2026 rappresenta un avanzamento tecnico, ma aumenta la complessità della progettazione. Il D.M. 28 ottobre 2025 corregge alcune criticità del decreto 2015, soprattutto nel trattamento della riqualificazione e dei ponti termici, e rende più coerente il primo livello con la quota di superfici vetrate. L'aggiornamento dell'edificio di riferimento migliora la rappresentazione dei nodi costruttivi, ma modifica anche gli esiti della classificazione.

Il D.Lgs. 5/2026 produce l'innovazione più problematica: l'estensione degli obblighi FER al patrimonio esistente. La finalità è coerente con la RED III, ma l'applicazione al secondo livello, agli impianti autonomi e ai condomìni richiede strumenti più precisi. Senza chiarimenti, il rischio è che un intervento di riduzione dei fabbisogni venga ostacolato dall'impossibilità di soddisfare obblighi impiantistici estranei all'opera originaria. La DGR Emilia-Romagna 792/2026 offre un coordinamento tempestivo, ma la presenza di requisiti regionali più severi e di decorrenze differenziate impone una lettura puntuale. La Regione potrebbe svolgere un ruolo decisivo mediante FAQ vincolanti sul piano amministrativo, esempi di calcolo e aggiornamenti dei sistemi SACE e CRITER.

Per il professionista la regola fondamentale è anteporre l'inquadramento al calcolo. Il software è uno strumento di verifica, non decide la categoria dell'intervento. La relazione tecnica deve rendere intelligibile il percorso: stato di fatto, unità di analisi, percentuali, categoria, verifiche, fonti rinnovabili, eccezioni e decorrenze. Solo questa trasparenza consente il controllo pubblico e riduce il contenzioso.

Nel medio periodo, il passaggio agli edifici a emissioni zero richiederà involucro efficiente, pompe di calore o reti decarbonizzate, ventilazione e automazione. La sequenza più robusta resta riduzione della domanda, adeguamento dei terminali e delle temperature, scelta del generatore, integrazione rinnovabile e gestione dei carichi. Le norme dovrebbero accompagnare tale sequenza con requisiti tecnicamente raggiungibili, economicamente proporzionati e coordinati con la realtà condominiale italiana.

BIBLIOGRAFIA

1. Direttiva (UE) 2024/1275 del Parlamento europeo e del Consiglio, 24 aprile 2024, sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione), testo consolidato al 24 maggio 2026.
2. Direttiva (UE) 2023/2413 del Parlamento europeo e del Consiglio, 18 ottobre 2023, promozione dell'energia da fonti rinnovabili (RED III). 3.
3. Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, attuazione della direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia, e successive modificazioni.
4. Decreto ministeriale 26 giugno 2015, applicazione delle metodologie di calcolo e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.
5. Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica 28 ottobre 2025, aggiornamento del D.M. 26 giugno 2015, G.U. n. 283 del 5 dicembre 2025.
6. Decreto legislativo 8 novembre 2021, n. 199, attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.
7. Decreto legislativo 9 gennaio 2026, n. 5, attuazione della direttiva (UE) 2023/2413, G.U. n. 15 del 20 gennaio 2026.

8. Regione Emilia-Romagna, DGR 20 luglio 2015, n. 967, Atto di coordinamento tecnico regionale per i requisiti minimi di prestazione energetica.
9. Regione Emilia-Romagna, DGR 25 maggio 2026, n. 792, modifiche all'Atto di coordinamento tecnico regionale, BURERT n. 145 del 5 giugno 2026.
10. UNI/TS 11300, serie vigente, Prestazioni energetiche degli edifici.
11. UNI EN ISO 52000-1, Prestazione energetica degli edifici – Valutazione globale EPB.
12. UNI EN ISO 52016-1, Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento e temperature interne.
13. UNI EN ISO 10211, Ponti termici in edilizia – Flussi termici e temperature superficiali.
14. UNI EN ISO 14683, Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica.
15. UNI EN ISO 13788, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia.
16. UNI EN ISO 52120-1, Contributo dell'automazione, del controllo e della gestione tecnica degli edifici alla prestazione energetica.

L'evoluzione tecnologica delle apparecchiature nel settore impiantistico

Gianmario Favero

La transizione energetica nel settore impiantistico

L'evoluzione tecnologica del settore impiantistico è strettamente legata alla trasformazione del quadro normativo europeo in materia di energia e ambiente. La progressiva riduzione delle emissioni climalteranti e l'obiettivo della neutralità climatica entro il 2050 stanno modificando profondamente il modo di progettare e realizzare gli impianti per la climatizzazione degli edifici.

Questa trasformazione non riguarda esclusivamente i generatori, ma interessa l'intero sistema edificio-impianto. Produttori, progettisti, installatori e distributori sono chiamati a sviluppare competenze sempre più specialistiche, mentre l'utente finale deve poter comprendere le prestazioni delle diverse soluzioni disponibili e orientarsi verso sistemi caratterizzati da maggiore efficienza e minore impatto ambientale.

Nel corso degli ultimi decenni si è assistito a un passaggio progressivo dalla caldaia tradizionale alle tecnologie a condensazione, all'integrazione con il solare termico e, successivamente, alla diffusione delle pompe di calore. Oggi il mercato sta compiendo un ulteriore passo verso sistemi integrati, nei quali produzione di energia termica, produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, accumulo e gestione dei carichi diventano elementi di una strategia energetica complessiva.La transizione non consiste quindi nella semplice sostituzione di un generatore con un altro, ma nell'evoluzione del concetto stesso di impianto.

Dalla caldaia tradizionale alla caldaia a condensazione

La caldaia alimentata a gas rappresenta ancora oggi uno dei generatori più conosciuti e diffusi nel patrimonio edilizio italiano. Il suo principale punto di forza è la capacità di fornire la potenza termica richiesta con prestazioni relativamente indipendenti dalle condizioni climatiche esterne.

Il limite principale è invece rappresentato dall'utilizzo di un combustibile non rinnovabile e dalle emissioni associate alla combustione.

L'evoluzione normativa e tecnologica ha portato alla progressiva sostituzione delle caldaie tradizionali con le caldaie a condensazione, in grado di recuperare una parte dell'energia contenuta nei prodotti della combustione attraverso la condensazione del vapore acqueo.

Il principio consente di recuperare calore che, nelle caldaie tradizionali, viene in larga parte disperso attraverso i fumi. L'efficienza del generatore aumenta in particolare quando l'impianto opera con temperature di ritorno sufficientemente basse da consentire la condensazione. Un passaggio importante si è verificato nel 2015, quando il quadro normativo europeo ha indirizzato il mercato verso l'impiego delle caldaie a condensazione, rendendole il riferimento per le nuove installazioni. L'introduzione della condensazione ha migliorato l'efficienza dei generatori a gas, ma non ha risolto il problema della quota di energia proveniente da fonti rinnovabili richiesta agli edifici.

L'integrazione con il solare termico

Una delle prime risposte a questa esigenza è stata l'integrazione tra caldaia e solare termico. I collettori solari termici consentono di utilizzare la radiazione solare per produrre energia termica, principalmente destinata alla produzione di acqua calda sanitaria.

L'integrazione con la caldaia permetteva di ridurre il consumo di combustibile e, contemporaneamente, di soddisfare una parte degli obblighi relativi all'utilizzo delle fonti rinnovabili.

Con l'evoluzione della normativa, tuttavia, la sola produzione di acqua calda sanitaria non era più sufficiente. La quota di energia rinnovabile richiesta riguardava progressivamente anche il riscaldamento degli ambienti. È proprio in questo ambito che il solare termico mostra alcuni limiti. Il fabbisogno di riscaldamento raggiunge infatti i valori più elevati durante i mesi invernali, quando la disponibilità di radiazione solare è generalmente più ridotta. La necessità di una tecnologia rinnovabile maggiormente flessibile ha favorito la diffusione delle pompe di calore.

Le pompe di calore

Le pompe di calore rappresentano una delle tecnologie centrali nel processo di elettrificazione e decarbonizzazione della climatizzazione degli edifici. Sono generatori particolarmente efficienti, soprattutto quando vengono utilizzati con sistemi di distribuzione a bassa temperatura, come gli impianti radianti a pavimento, a parete o a soffitto.

Un ulteriore vantaggio consiste nella possibilità di utilizzare un unico sistema per diversi servizi energetici. Una pompa di calore reversibile può fornire riscaldamento invernale e raffrescamento estivo e, attraverso un'opportuna configurazione, contribuire anche alla produzione di acqua calda sanitaria. L'utilizzo della pompa di calore consente inoltre di valorizzare l'energia elettrica prodotta da un impianto fotovoltaico. L'elettricità rappresenta un vettore energetico flessibile: la

stessa energia prodotta dal fotovoltaico può essere destinata ai diversi carichi dell'abitazione, tra cui elettrodomestici, illuminazione e sistemi di climatizzazione.
L'abbinamento tra fotovoltaico e pompa di calore è quindi uno degli elementi caratteristici dell'edificio energeticamente evoluto. La convenienza complessiva deve tuttavia essere valutata considerando il costo dell'energia elettrica, il profilo di produzione del fotovoltaico, il fabbisogno dell'edificio e le condizioni di funzionamento dell'impianto.

Il principio di funzionamento
La pompa di calore è una macchina termodinamica capace di trasferire calore da una sorgente a temperatura inferiore verso un ambiente a temperatura superiore, utilizzando energia elettrica per alimentare il ciclo frigorifero. La macchina non produce quindi tutta l'energia termica che fornisce all'edificio a partire dall'elettricità assorbita. Una parte dell'energia viene prelevata dalla sorgente esterna. Nel caso di una pompa di calore aria-acqua, per esempio, l'energia viene estratta dall'aria esterna e trasferita all'acqua dell'impianto.
Lo stesso ciclo può essere invertito. La macchina può sottrarre calore all'edificio e trasferirlo all'esterno, operando come sistema frigorifero per il raffrescamento degli ambienti.
Le pompe di calore più diffuse sono quelle elettriche a compressione, ma esistono anche pompe di calore ad assorbimento e sistemi alimentati da motori a combustione.

Classificazione delle pompe di calore
Le pompe di calore possono essere classificate secondo diversi criteri. Il primo riguarda la sorgente termica e il fluido al quale viene trasferito il calore. Le principali configurazioni sono aria-aria, aria-acqua, acqua-aria, acqua-acqua, terreno-aria e terreno-acqua.
La configurazione aria-aria corrisponde, per esempio, al comune climatizzatore domestico. La configurazione aria-acqua è particolarmente diffusa negli impianti residenziali nei quali l'acqua alimenta i terminali di riscaldamento e raffrescamento.
Le pompe di calore geotermiche utilizzano invece il terreno come sorgente termica. Il terreno presenta il vantaggio di garantire condizioni più stabili rispetto all'aria esterna, anche se l'installazione richiede opere specifiche e maggiori investimenti iniziali.
Un secondo criterio riguarda il compressore. Le macchine possono essere dotate di un singolo compressore, di più compressori oppure di compressori a velocità variabile con tecnologia inverter. L'inverter permette di modulare la capacità della macchina in funzione della richiesta dell'edificio, migliorando l'efficienza ai carichi parziali.
Nel sistema monoblocco, i principali componenti del circuito frigorifero sono integrati nell'unità esterna e il collegamento con l'impianto dell'edificio avviene generalmente mediante tubazioni dell'acqua. Nel sistema split sono invece presenti un'unità esterna e un'unità interna collegate mediante tubazioni frigorifere.

COP ed efficienza
Uno dei parametri fondamentali per descrivere le prestazioni di una pompa di calore è il COP, Coefficient of Performance. Esso è definito come il rapporto tra la potenza termica fornita dalla macchina e la potenza elettrica assorbita:
COP = Potenza termica fornita / Potenza elettrica assorbita
Se una pompa di calore presenta, in determinate condizioni operative, un COP pari a 4, significa che per ogni 1 kW elettrico assorbito è in grado di fornire 4 kW di potenza termica. La differenza proviene dalla sorgente esterna.
Questo spiega perché il COP possa essere superiore all'unità. La pompa di calore utilizza l'elettricità per trasferire energia termica disponibile nell'ambiente esterno, anziché trasformare esclusivamente l'elettricità in calore.
In modalità raffrescamento si utilizza invece l'EER, Energy Efficiency Ratio, che mette in relazione la potenza frigorifera fornita con la potenza elettrica assorbita. COP ed EER devono essere interpretati in relazione alle condizioni operative alle quali sono stati determinati e non come valori costanti durante l'intero anno.

Temperatura esterna e temperatura di mandata
La temperatura della sorgente esterna è uno dei principali fattori che influenzano le prestazioni di una pompa di calore aria-acqua. Quando la temperatura dell'aria esterna diminuisce, diventa progressivamente più difficile estrarre energia termica dalla sorgente. Per trasferire il calore all'impianto alla temperatura richiesta, il compressore deve lavorare in condizioni più gravose. Aumenta quindi il rapporto di compressione e cresce la potenza elettrica assorbita, con conseguente riduzione del COP.
Anche la temperatura di mandata dell'acqua rappresenta un elemento determinante. Le pompe di calore raggiungono le migliori prestazioni quando operano con temperature di mandata relativamente basse.
Un impianto radiante può funzionare, indicativamente, con acqua a circa 30-35 °C. I ventilconvettori possono richiedere temperature superiori, mentre i radiatori tradizionali possono richiedere temperature ancora più elevate. Ne consegue che, a parità di condizioni esterne, quanto maggiore è la temperatura di mandata richiesta dall'impianto, tanto minore tende a essere il COP. Questa relazione evidenzia l'importanza dell'integrazione tra edificio, terminali e generatore.

Il fenomeno del brinamento
Nel caso delle pompe di calore aria-acqua esiste un ulteriore fenomeno da considerare: il brinamento dello scambiatore esterno.
Quando la macchina funziona in riscaldamento in presenza di temperature esterne basse e umidità elevata, l'aria attraversa la batteria esterna, la cui superficie può raggiungere temperature inferiori a quella di congelamento. L'umidità contenuta nell'aria può quindi condensare e successivamente congelare sulla superficie dello scambiatore.
La formazione del ghiaccio riduce la capacità di scambio termico. La pompa di calore deve pertanto effettuare periodicamente un ciclo di sbrinamento. Durante questa fase il ciclo frigorifero viene temporaneamente invertito: la macchina utilizza energia termica per riscaldare la batteria esterna e sciogliere il ghiaccio accumulato. Lo sbrinamento comporta quindi un consumo energetico aggiuntivo e una temporanea riduzione della capacità di riscaldamento.
Il fenomeno riguarda principalmente le pompe di calore che utilizzano l'aria come sorgente. Le pompe di calore acqua-acqua e geotermiche non sono soggette allo stesso fenomeno sulla sorgente.

L'evoluzione dei gas refrigeranti
La transizione energetica riguarda anche la scelta dei gas refrigeranti. Nel corso degli anni sono state utilizzate diverse famiglie di refrigeranti, ma le problematiche ambientali hanno portato a una progressiva sostituzione dei gas maggiormente impattanti.
I CFC, clorofluorocarburi, hanno evidenziato importanti problematiche legate allo strato di ozono. Successivamente sono stati introdotti gli HCFC, come l'R22, che hanno ridotto ma non eliminato completamente queste criticità.
La progressiva eliminazione dei refrigeranti contenenti cloro ha favorito la diffusione degli HFC, come l'R410A e successivamente l'R32. Gli HFC non presentano lo stesso problema relativo all'ozono, ma alcuni sono caratterizzati da un elevato GWP, Global Warming Potential, cioè un elevato potenziale di riscaldamento globale.
La normativa più recente sta quindi indirizzando il mercato verso refrigeranti con GWP sempre più basso.

Dall'R410A all'R32 e ai refrigeranti naturali
L'R410A è stato per molti anni uno dei refrigeranti maggiormente utilizzati nelle pompe di calore e nei sistemi di climatizzazione. Il suo principale limite è rappresentato dall'elevato GWP. L'R32 ha rappresentato un'evoluzione importante grazie a un GWP inferiore rispetto all'R410A. È classificato A2L, quindi come refrigerante caratterizzato da una bassa infiammabilità.
La tendenza successiva è quella verso refrigeranti naturali a bassissimo GWP, tra cui il propano R290.
L'R290 presenta un GWP pari a circa 3 e possiede caratteristiche termodinamiche particolarmente favorevoli per le applicazioni in pompa di calore. Il principale elemento di attenzione è la classificazione A3, che indica un'elevata infiammabilità.
Questo aspetto rende indispensabile un'attenta progettazione dell'installazione e una formazione specifica degli operatori incaricati dell'installazione e della manutenzione.

Il propano R290 nelle pompe di calore
L'R290 sta assumendo un ruolo sempre più importante nelle pompe di calore di nuova generazione. Dal punto di vista termodinamico, il propano è un refrigerante particolarmente performante e permette di raggiungere temperature di mandata elevate. Alcune macchine possono raggiungere temperature dell'acqua prossime agli 80 °C e mantenere il funzionamento anche in presenza di temperature esterne molto basse.
Questa caratteristica è particolarmente interessante nella riqualificazione degli edifici esistenti, dove spesso sono presenti radiatori progettati per funzionare con temperature di mandata più elevate rispetto agli impianti radianti.
L'utilizzo dell'R290 richiede tuttavia il rispetto di specifici requisiti di installazione. Devono essere valutati gli spazi di rispetto intorno alla macchina, la presenza di finestre, aperture, prese d'aria e apparecchiature elettriche, oltre alle prescrizioni indicate dal costruttore.
La corretta installazione e manutenzione diventano quindi elementi essenziali per garantire la sicurezza del sistema.

Nuovi edifici ed edifici esistenti
Per comprendere la portata della transizione tecnologica è necessario distinguere tra nuovi edifici e patrimonio edilizio esistente.
Gli edifici di nuova costruzione sono generalmente caratterizzati da un involucro altamente isolato, fabbisogni energetici ridotti e impianti progettati per lavorare a bassa temperatura. In questi casi la pompa di calore si integra facilmente con l'edificio e può essere abbinata a un impianto fotovoltaico e a sistemi di accumulo.
La situazione è diversa negli edifici esistenti, che rappresentano la parte largamente prevalente del patrimonio immobiliare italiano. Questi edifici possono presentare livelli di isolamento bassi o medi,

terminali progettati per temperature elevate, generatori a gas e fabbisogni di potenza di picco significativi. La riqualificazione energetica deve quindi tenere conto delle caratteristiche dell'edificio e non può essere affrontata attraverso una semplice sostituzione del generatore.

Il dimensionamento della pompa di calore

Uno degli aspetti più importanti nella progettazione di un impianto a pompa di calore è il corretto dimensionamento della macchina.

I dati dichiarati dai produttori sono generalmente riferiti a condizioni standardizzate definite dalle norme tecniche, che permettono di confrontare macchine diverse. Tali condizioni non rappresentano però necessariamente quelle reali di funzionamento dell'edificio.

Supponiamo, per esempio, che un'abitazione richieda una potenza termica di 10 kW alla temperatura esterna di -5 °C. Una pompa di calore nominalmente identificata come macchina da 10 kW potrebbe essere in grado di fornire tale potenza in condizioni di prova più favorevoli, ma fornire una potenza inferiore quando la temperatura esterna scende.

È quindi necessario conoscere la potenza effettivamente disponibile alle condizioni di progetto. La differenza tra la potenza richiesta dall'edificio e quella disponibile dalla pompa di calore costituisce il gap di potenza e deve essere gestita attraverso un sistema integrativo.

Integrazione con resistenza elettrica

Una prima soluzione consiste nell'utilizzare una resistenza elettrica integrativa. La pompa di calore copre la maggior parte del fabbisogno durante le condizioni ordinarie. Quando la temperatura esterna diminuisce e la richiesta dell'edificio supera la potenza disponibile, la resistenza interviene per compensare la differenza.

Questa soluzione permette di mantenere un sistema completamente elettrico, ma deve essere valutata con attenzione, perché l'utilizzo della resistenza determina un assorbimento elettrico significativo e un'efficienza inferiore rispetto al funzionamento della pompa di calore. Il dimensionamento deve quindi essere effettuato considerando il comportamento reale dell'edificio e non soltanto la potenza nominale dichiarata del generatore.

Il sistema ibrido: pompa di calore e caldaia

Per gli edifici esistenti una soluzione particolarmente interessante è rappresentata dal sistema ibrido, nel quale una pompa di calore viene integrata con una caldaia a condensazione.

L'obiettivo non è necessariamente eliminare completamente il gas, ma utilizzare i due generatori in maniera coordinata, sfruttando ciascuna tecnologia nelle condizioni in cui risulta più efficace. La pompa di calore può funzionare quando le condizioni esterne e il fabbisogno dell'edificio consentono di ottenere un'elevata efficienza. La caldaia può intervenire quando la temperatura esterna diventa particolarmente bassa, quando è richiesta una potenza superiore a quella disponibile dalla pompa di calore oppure quando, in determinate condizioni economiche, il funzionamento a gas risulta più conveniente.

Il sistema ibrido consente quindi di gestire il mix energetico dell'edificio in maniera dinamica.

Il punto di equilibrio

La gestione dei due generatori può essere effettuata sulla base del cosiddetto punto di pareggio. In funzione delle condizioni climatiche, del COP della pompa di calore e dei prezzi dell'energia elettrica e del gas, il sistema può determinare quale generatore sia più conveniente utilizzare.

Quando la pompa di calore presenta condizioni di funzionamento favorevoli, viene privilegiata. Quando invece il suo rendimento diminuisce e il funzionamento della caldaia diventa più conveniente, il sistema può trasferire il carico al generatore a condensazione.

Questa logica permette di sfruttare al meglio entrambe le tecnologie e rappresenta una delle caratteristiche più interessanti dei sistemi ibridi.

Quadro normativo e criteri di lettura delle prestazioni

La valutazione di una pompa di calore non può essere ricondotta al solo valore di COP dichiarato in un punto di funzionamento. Per confrontare correttamente le macchine occorre distinguere tra prestazione istantanea e prestazione stagionale. Il COP descrive infatti il rapporto tra potenza termica resa e potenza elettrica assorbita in una specifica condizione; il parametro stagionale SCOP considera invece il comportamento della macchina al variare delle condizioni climatiche, dei carichi parziali e, quando presenti, dei sistemi di integrazione elettrica. Le prescrizioni europee di ecodesign utilizzano proprio un approccio stagionale. Il regolamento (UE) n. 813/2013 definisce criteri di misura e calcolo per apparecchi di riscaldamento e pompe di calore e prevede, per queste ultime, la valutazione del comportamento su condizioni di carico e temperature esterne differenti. Il regolamento (UE) 2016/2281 utilizza analogamente il concetto di SCOP per diverse categorie di prodotti. È quindi preferibile, in un testo tecnico, evitare di presentare un singolo COP come indicatore dell'efficienza annuale. Anche il riferimento alle condizioni di prova deve essere formulato con cautela. Il valore di +7 °C di aria esterna e 35 °C di acqua di mandata è una condizione di riferimento molto utilizzata nel confronto delle pompe di calore aria-acqua, ma non costituisce da sola la descrizione completa delle prestazioni della macchina. Le condizioni effettive di prova e i parametri dichiarati devono essere verificati nella documentazione del prodotto e nella norma applicabile. Per questo motivo, nel dimensionamento, è necessario utilizzare le curve prestazionali o i dati di potenza e COP fornite dal costruttore alle temperature esterne e alle temperature di mandata pertinenti.

Energia rinnovabile e pompe di calore

Nel testo originale era presente l'affermazione secondo cui, con un COP pari a 4 e 1 kW elettrico assorbito, i 3 kW non elettrici forniti dalla pompa di calore possono essere considerati automaticamente energia rinnovabile. L'affermazione va precisata. Dal punto di vista fisico, se la macchina fornisce 4 kW termici assorbendone 1 kW elettrico, circa 3 kW provengono dalla sorgente ambientale. Tuttavia, la qualificazione normativa di tale quota come energia rinnovabile non dipende semplicemente dalla differenza tra potenza termica e potenza elettrica, ma da criteri definiti dalla normativa europea e nazionale, tra cui il rendimento stagionale della macchina e le modalità di calcolo previste per l'energia aerotermica, idrotermica o geotermica.

È quindi più corretto parlare di energia termica prelevata dalla sorgente ambientale e precisare che una parte di tale energia può essere contabilizzata come rinnovabile quando sono rispettati i requisiti normativi applicabili. Questo rende il testo più rigoroso e impedisce di confondere il bilancio istantaneo della macchina con il metodo di contabilizzazione dell'energia rinnovabile.

Correzione del principio termodinamico

La descrizione originaria dei due principi della termodinamica deve essere riformulata. Il primo principio esprime la conservazione dell'energia. Il secondo principio stabilisce invece i vincoli sull'evoluzione spontanea dei processi termodinamici e sulla possibilità di convertire calore e lavoro. Una pompa di calore non viola il secondo principio: utilizza lavoro, fornito dal compressore, per trasferire calore da una sorgente a temperatura più bassa verso un ambiente a temperatura più alta. È pertanto preferibile non scrivere che il secondo principio afferma semplicemente che il calore passa da un corpo caldo a uno freddo. Tale frase descrive soltanto la direzione spontanea del trasferimento di calore e non è sufficiente a spiegare il funzionamento della pompa di calore. Nel ciclo frigorifero il trasferimento inverso è reso possibile dall'apporto di lavoro al compressore.

COP, EER e indicatori stagionali

Nel funzionamento in riscaldamento, il COP è il rapporto tra la potenza termica utile fornita dalla pompa di calore e la potenza elettrica assorbita nelle condizioni considerate. In raffrescamento è più corretto utilizzare il termine EER quando si descrive il rapporto istantaneo tra potenza frigorifera e potenza elettrica assorbita. Per la valutazione stagionale sono invece utilizzati indicatori come SCOP per il riscaldamento e SEER per il raffrescamento, secondo la categoria di prodotto e la metodologia applicabile.

La differenza è importante anche dal punto di vista progettuale. Una macchina può avere un COP elevato in una condizione favorevole e presentare valori sensibilmente inferiori quando la temperatura esterna diminuisce o quando aumenta la temperatura di mandata. La scelta del generatore deve quindi essere effettuata sulla base del comportamento nell'intero campo di funzionamento, non sulla base di un solo valore nominale.

Brinamento e sbrinamento: precisazione tecnica

Nel funzionamento in riscaldamento di una pompa di calore aria-acqua, la batteria esterna può raggiungere temperature inferiori al punto di rugiada dell'aria e, in determinate condizioni, inferiori a 0 °C. L'umidità può quindi condensare e congelare sulla superficie dello scambiatore. L'accumulo di brina riduce lo scambio termico e aumenta la perdita di carico dell'aria.

Il controllo della macchina avvia periodicamente una fase di sbrinamento. Nelle macchine reversibili lo sbrinamento può essere ottenuto invertendo temporaneamente il ciclo frigorifero e trasferendo calore verso lo scambiatore esterno. Durante questa fase la capacità utile di riscaldamento viene ridotta e viene consumata energia aggiuntiva. L'impatto stagionale non è un valore fisso valido per tutte le macchine: dipende dal clima, dalla progettazione dello scambiatore, dalla logica di controllo e dalla frequenza e durata degli sbrinamenti. È quindi da evitare l'indicazione generalizzata di una perdita del 5-10% se non è accompagnata da una specifica fonte o da condizioni di prova definite.

Refrigeranti e regolamento F-gas 2024

Il regolamento (UE) 2024/573 sui gas fluorurati a effetto serra ha introdotto un quadro più restrittivo rispetto al precedente regolamento (UE) n. 517/2014. Le limitazioni alla commercializzazione dipendono dalla tipologia di apparecchiatura, dalla potenza e dal GWP del refrigerante. Non è quindi corretto affermare in modo generale che dal 2027 tutte le pompe di calore inferiori a 12 kW debbano utilizzare

un refrigerante con GWP inferiore a 150.
Per esempio, l'allegato IV del regolamento prevede dal 1° gennaio 2027, per determinate pompe di calore autonome fino a 12 kW, il divieto di immissione sul mercato di apparecchiature contenenti gas fluorurati con GWP pari o superiore a 150, salvo le eccezioni legate ai requisiti di sicurezza. Per i sistemi split aria-acqua fino a 12 kW è previsto un analogo limite dal 2027, mentre per gli split aria-aria la data è diversa. Per potenze superiori a 12 kW e per altre configurazioni le date e le soglie cambiano. Nel contributo è quindi necessario specificare sempre la categoria di apparecchiatura alla quale si riferisce la scadenza normativa.
Il GWP deve essere inoltre citato con la metodologia e la fonte normativa di riferimento. Il regolamento 2024/573 definisce il GWP come il potenziale di riscaldamento globale su 100 anni e riporta nell'allegato I i valori utilizzati ai fini del regolamento. Per il propano R290 il valore riportato nell'allegato I deriva dalla metodologia indicata dal regolamento e non coincide necessariamente con i valori più vecchi riportati nella documentazione commerciale basata su precedenti rapporti IPCC. In un testo editoriale è quindi preferibile indicare 'GWP molto basso' e riportare il valore numerico solo insieme alla fonte e alla metodologia.

R410A, R32 e R290
L'R410A è una miscela composta da R32 e R125. Per questo motivo non è corretto definire l'R32 come uno 'spin-off' dell'R410A. È più corretto spiegare che l'R32 è uno dei componenti dell'R410A e che è stato successivamente utilizzato come refrigerante puro in numerose apparecchiature grazie al GWP inferiore rispetto all'R410A.
L'R32 è classificato A2L secondo la classificazione di sicurezza dei refrigeranti, cioè presenta bassa infiammabilità. L'R290, invece, è classificato A3, quindi altamente infiammabile. La scelta dell'R290 richiede pertanto una progettazione conforme alle norme di sicurezza applicabili, alle prescrizioni del costruttore e alle condizioni di installazione. Non è corretto affermare in termini assoluti che l'R290 'non presenta rischi': la formulazione tecnica corretta è che i rischi possono essere gestiti attraverso progettazione, limiti di carica, corretta installazione, ventilazione e procedure di manutenzione conformi alle prescrizioni applicabili.

Nuovi edifici e patrimonio esistente
Nel testo originale era indicato che il 5% delle abitazioni italiane sarebbe costituito da edifici nuovi e il restante 95% da edifici esistenti. Questa percentuale non è stata mantenuta nella versione tecnica perché richiederebbe una fonte statistica precisa, una definizione temporale di 'nuovo edificio' e un riferimento all'universo statistico considerato. Il concetto generale è comunque corretto: la riqualificazione del patrimonio esistente costituisce una parte fondamentale della transizione energetica nel settore edilizio.
Negli edifici nuovi, un involucro efficiente e terminali a bassa temperatura facilitano l'impiego delle pompe di calore. Negli edifici esistenti, invece, la scelta deve considerare isolamento, temperatura di progetto, terminali, potenza disponibile, eventuale produzione di acqua calda sanitaria e spazio disponibile per l'installazione. La soluzione tecnica deve essere costruita sul fabbisogno dell'edificio e non sul solo generatore.

Dimensionamento e punto di bivalenza
Il dimensionamento deve partire dal carico termico dell'edificio alle condizioni di progetto e dal profilo reale di funzionamento. La potenza nominale dichiarata dal produttore non deve essere interpretata come una potenza costante indipendente dalla temperatura esterna. Le pompe di calore aria-acqua modulanti modificano infatti la propria capacità al variare delle condizioni di esercizio.
Nel sistema ibrido è utile distinguere il punto di bivalenza tecnico dal punto di convenienza economica. Il primo è legato alla capacità della pompa di calore di coprire il carico richiesto alle condizioni esterne considerate. Il secondo dipende anche dai prezzi dell'elettricità e del gas, dai rendimenti reali dei generatori e dalle strategie di regolazione. Non esiste quindi un unico punto di equilibrio valido per tutti gli impianti.

Sistema ibrido e quadro europeo attuale
La direttiva (UE) 2024/1275 sulla prestazione energetica nell'edilizia rafforza il percorso verso la decarbonizzazione degli edifici. La direttiva stabilisce, tra l'altro, che gli edifici a emissioni zero non debbano generare emissioni in loco di carbonio da combustibili fossili e prevede che, dal 2025, gli Stati membri non forniscano incentivi finanziari per l'installazione di caldaie autonome alimentate da combustibili fossili, con le eccezioni previste dalla direttiva. La stessa direttiva riconosce la possibilità di incentivare sistemi di riscaldamento ibridi con una quota considerevole di energia rinnovabile, come la combinazione tra caldaia e pompa di calore.
Il sistema ibrido deve quindi essere presentato come una soluzione di transizione e di riqualificazione, non come un semplice ritorno alla caldaia. La sua efficacia dipende dalla corretta regolazione dei generatori e dalla capacità di massimizzare il funzionamento della pompa di calore quando le condizioni sono favorevoli, utilizzando il generatore a combustione nei casi in cui sia tecnicamente o economicamente opportuno.

Conclusioni
L'evoluzione tecnologica degli impianti di climatizzazione sta modificando profondamente il modo di progettare gli edifici e i relativi sistemi energetici.
Il percorso iniziato con il miglioramento delle caldaie tradizionali e l'introduzione della condensazione è proseguito attraverso l'integrazione con il solare termico e ha portato alla crescente diffusione delle pompe di calore. Oggi la sfida principale consiste nell'integrare in maniera intelligente elettrificazione, fonti rinnovabili, fotovoltaico, accumulo, pompe di calore e sistemi di generazione tradizionali.
La pompa di calore rappresenta una tecnologia centrale di questo processo, ma la sua efficacia dipende fortemente dalle condizioni di utilizzo. Temperatura esterna, umidità, temperatura di mandata, caratteristiche dei terminali e fabbisogno dell'edificio sono fattori che devono essere considerati in fase di progettazione.
Negli edifici nuovi, caratterizzati da un buon isolamento e da impianti a bassa temperatura, la pompa di calore può rappresentare una soluzione particolarmente efficiente. Negli edifici esistenti, invece, la situazione richiede una valutazione più articolata. La presenza di terminali ad alta temperatura e di importanti fabbisogni di potenza può rendere necessario il ricorso a sistemi integrativi.
In questo contesto il sistema ibrido, costituito da pompa di calore e caldaia a condensazione, rappresenta una soluzione capace di accompagnare la trasformazione del patrimonio edilizio esistente, combinando l'efficienza della pompa di calore con la capacità della caldaia di fornire elevate potenze alle condizioni più gravose.
Parallelamente, anche l'evoluzione dei refrigeranti sta modificando il settore. Il passaggio dai refrigeranti ad alto impatto ambientale verso soluzioni a basso GWP, come l'R32 e soprattutto i refrigeranti naturali come l'R290, rappresenta un ulteriore tassello del processo di decarbonizzazione. Il futuro dell'impiantistica sarà quindi sempre meno legato alla scelta di un singolo generatore e sempre più orientato alla progettazione di sistemi energetici integrati, nei quali ogni componente contribuisce al raggiungimento dell'obiettivo complessivo di efficienza, comfort, sicurezza e riduzione dell'impatto ambientale. La transizione energetica richiederà, di conseguenza, non soltanto apparecchiature più efficienti, ma anche maggiore qualità della progettazione, competenza degli operatori e capacità di interpretare l'edificio come un sistema unico.

Smart Home: l’impatto del controllo domotico sul comfort e l’efficienza degli impianti

Gianluigi Durastante

1. Inquadramento storico ed evoluzione tecnologica degli impianti radianti

1.1 Le origini: la tecnologia radiante a pavimento negli anni ‘90

Negli anni ‘90, l’impiantistica termica civile e industriale era quasi interamente dominata dai sistemi di trasmissione del calore a convezione, rappresentati principalmente da radiatori tradizionali, ventilconvettori e aerotermi. Il progressivo superamento dei limiti intrinseci di tali sistemi convettivi ha trovato una risposta nella diffusione e nello sviluppo della tecnologia degli impianti radianti a pavimento. Dal punto di vista della fisica tecnica, la trasmissione del calore nei sistemi radianti si basa sul principio dello scambio termico per irraggiamento tra una superficie attiva — il pavimento — e le restanti superfici delimitanti l’ambiente, oltre che direttamente verso i corpi degli occupanti. La potenza termica trasmessa per irraggiamento da una superficie a temperatura determinata verso un ambiente a temperatura medio-radiante specifica è regolata dalla legge di Stefan-Boltzmann, opportunamente corretta per tener conto dell’emissività reale dei materiali impiegati nei rivestimenti.

Rispetto ai radiatori tradizionali, che richiedono temperature del fluido termovettore tipicamente comprese tra 65°C e 80°C, i sistemi a pavimento operano a basse temperature di mandata, solitamente comprese tra 30°C e 38°C. Questo gradiente termico ridotto consente di minimizzare le perdite di calore lungo le reti di distribuzione e di ottimizzare l’accoppiamento con le caldaie a condensazione e con le prime generazioni di pompe di calore, ponendo le basi per un drastico contenimento dei consumi energetici primari.

1.2 La svolta del 2000: l’introduzione dei sistemi a soffitto e il raffrescamento estivo

Nel corso degli anni 2000, l’evoluzione dell’involucro edilizio - caratterizzato dal progressivo miglioramento degli isolamenti a cappotto e dall’introduzione di serramenti a basso emissivo - ha ridotto significativamente il fabbisogno termico specifico degli edifici. Questo cambiamento ha spostato l’attenzione dell’ingegneria impiantistica dall’esclusiva gestione del riscaldamento invernale alla necessità di garantire il comfort estivo.

Per rispondere a questa nuova esigenza di mercato, l’offerta impiantistica si è ampliata con l’introduzione dei sistemi radianti a soffitto. Il soffitto radiante presenta notevoli vantaggi fluidodinamici e termici rispetto al pavimento, in particolar modo quando impiegato nella modalità di raffrescamento estivo:

- Assenza di ostacoli fisici: la superficie del soffitto è totalmente priva di arredi, elementi decorativi o coperture che negli impianti a pavimento rischiano di ridurre la resa termica utile.
- Bassa inerzia termica: i sistemi a soffitto realizzati in cartongesso, con tubazioni integrate all’interno di pannelli isolanti, presentano una massa marcatamente inferiore rispetto ai massetti cementizi tradizionali. Ciò consente tempi di risposta a regime estremamente ridotti, stimabili in circa 15-20 minuti contro le 4-6 ore necessarie per un impianto a pavimento tradizionale.
- Resa frigorifera maggiorata: in fase di raffrescamento, la convezione naturale si somma efficacemente all’irraggiamento. L’aria fredda a contatto con il soffitto tende a scendere verso il basso a causa della maggiore densità, innescando un moto convettivo discendente non turbolento che incrementa lo scambio termico complessivo fino a raggiungere valori pari a circa 90 Watt per metro quadrato.

1.2 1.3 L’integrazione aeraulica: deumidificazione e Ventilazione Meccanica Controllata (VMC)

L’utilizzo delle superfici radianti nella modalità di raffrescamento estivo comporta la necessità imperativa di controllare lo stato igrometrico dell’aria ambiente. Quando la temperatura della superficie radiante scende al di sotto della temperatura di rugiada (o dew point) dell’aria circostante, si innesca la condensazione dell’umidità presente nell’ambiente, con conseguente formazione di veli d’acqua, rischio di scivolamento e deterioramento delle finiture superficiali.

La temperatura di rugiada è direttamente legata alla temperatura del bulbo asciutto e all’umidità relativa dell’aria, parametri chiaramente individuabili all’interno del diagramma psicrometrico. Per mantenere l’impianto in condizioni di completa sicurezza senza dover innalzare la temperatura di mandata dell’acqua — operazione che penalizzerebbe drasticamente la resa frigorifera complessiva —, la moderna progettazione impiantistica prevede l’adozione di un sistema integrato basato su due pilastri fondamentali:

1. Deumidificatori isotermici e a neutro termico: si tratta di macchine frigorifere a ciclo di compressione appositamente progettate per smaltire il carico di umidità specifica (misurata in grammi di acqua per chilogrammo di aria) senza alterare la temperatura dell’aria trattata.

Questo risultato si ottiene grazie alla presenza di batterie idroniche di post-raffreddamento ad acqua.
2. Unità di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) con recupero di calore: sistemi ad alta efficienza dotati di recuperatori a flussi incrociati o controcorrente con rese energetiche superiori al 90%. Tali dispositivi garantiscono il ricambio d'aria igienico prescritto dalle normative tecniche di riferimento (UNI 10339 e UNI EN 16798), filtrando contemporaneamente gli inquinanti indoor come il particolato sottile ((PM10 e PM2.5), i composti organici volatili (VOC) e la formaldeide.

1.4 La convergenza verso la termoregolazione proprietaria e la domotica
La gestione di un impianto radiante estivo abbinato alla ventilazione meccanica controllata e alla deumidificazione presenta un livello di complessità che non può in alcun modo essere affidato a termostati tradizionali di tipo acceso-spento. Per questa ragione, nel corso degli anni si è resa necessaria la progettazione e lo sviluppo di centraline di termoregolazione dedicate, integrando direttamente logiche di controllo evolute sia a livello di firmware di bordo sia di software di supervisione.
Nel corso dell'ultimo decennio, il settore ha compiuto un ulteriore e decisivo passo evolutivo: la transizione dalla pura regolazione idronica alla Building Automation globale. Questo passaggio tecnologico ha permesso di unificare sotto un'unica logica di controllo non soltanto i componenti termoidraulici, come valvole miscelatrici, circolatori e deumidificatori, ma anche la distribuzione elettrica, il controllo dell'illuminazione, la movimentazione delle schermature solari e la gestione energetica dell'intero edificio.

2. La filiera del servizio integrato e la partnership KNX
2.1 Lo standard aperto KNX come scelta strategica
Nell'ambito dell'automazione degli edifici, la frammentazione causata dai protocolli proprietari ha storicamente rappresentato una barriera critica per la piena integrazione dei sistemi. La moderna progettazione impiantistica tende quindi a superare questo limite adottando lo standard aperto KNX, conforme alla norma internazionale ISO/IEC 14543-3 e alla norma europea EN 50090, riconosciuto come riferimento primario di interoperabilità.
L'architettura KNX si basa su una topologia a bus decentralizzato in cui tutti i dispositivi, inclusi sensori, attuatori e nodi di sistema, condividono un unico mezzo trasmissivo costituito da un cavo twisted pair a 30 Volt in corrente continua e comunicano attraverso un protocollo di tipo peer-to-peer. Questo approccio ingegneristico elimina la necessità di disporre di una centrale di calcolo unica la cui eventuale avaria determinerebbe il blocco improvviso dell'intero fabbricato.

2.2 Il modello operativo aziendale: dal concept al collaudo
L'approccio moderno alla realizzazione di impianti integrati non si limita alla mera fornitura di componenti hardware, ma richiede una filiera completa di servizi ad alto valore aggiunto tecnico, articolata su quattro livelli operativi ben definiti:
- Consulenza e supporto alla progettazione: L'ufficio tecnico specialistico affianca i progettisti termotecnici ed elettrici fin dalle prime fasi preliminari dell'opera. Vengono sviluppate l'analisi dettagliata dei carichi termici estivi ed invernali, la definizione precisa dei passaggi delle tubazioni, il dimensionamento delle pompe di circolazione e la stesura degli schemi di principio idraulici ed elettrici. La definizione preventiva degli algoritmi di regolazione evita l'insorgere di conflitti tra i vari impianti durante la fase di cantiere.
- Sopralluoghi operativi e pre-visite di cantiere: La verifica puntuale dell'installazione prima dell'esecuzione delle fasi costruttive irreversibili - come il getto dei massetti cementizi o la chiusura dei controsoffitti in cartongesso - rappresenta un passaggio cruciale. Durante queste pre-visite vengono controllati la corretta posa dei giunti di dilatazione, il posizionamento del cavo bus KNX distante dai cavi di potenza per evitare interferenze elettromagnetiche e il corretto collocamento delle sonde ambientali lontano da fonti di calore dirette.
- Collaudo diretto e programmazione ETS: La fase di programmazione e di collaudo finale viene affidata a tecnici specializzati. L'integrazione tra i dispositivi KNX e le centraline di regolazione avviene attraverso l'impiego del software di configurazione universale ETS (Engineering Tool Software). Durante il collaudo si procede all'indirizzamento fisico dei nodi, all'associazione degli oggetti di comunicazione tramite gruppi logici e al bilanciamento idraulico dei collettori di distribuzione.
- Tele-assistenza e manutenzione predittiva: L'integrazione di gateway di supervisione dotati di connettività IP e cloud permette di accedere da remoto agli impianti installati. Attraverso cruscotti dedicati è possibile analizzare i trend storici delle temperature, rilevare anomalie operative (come il blocco di un circolatore o l'intasamento dei filtri della VMC) ed effettuare la variazione delle curve climatiche senza dover pianificare interventi fisici immediati in campo.3.

3. Sistemi BMS, Norma UNI EN ISO 52120 e Direttiva EPBD
3.1 Architettura ed evoluzione dei Building Management Systems (BMS)
Un Building Management System, indicato comunemente con l'acronimo BMS, è una piattaforma integrata hardware e software atta al controllo, al monitoraggio e alla gestione coordinata dei sistemi tecnologici all'interno di un edificio. Negli immobili caratterizzati da un'elevata complessità impiantistica, come strutture direzionali, ospedali, alberghi e centri commerciali, il BMS opera come una mente centralizzata in grado di ottimizzare l'erogazione di tutti i servizi energetici.
L'architettura funzionale di un moderno BMS si articola su tre livelli gerarchici interconnessi:
- Livello di Campo o Field Level: è costituito da tutti i sensori presenti negli ambienti (sonde di temperatura, umidità relativa, concentrazione di anidride carbonica, pressione, luminosità), dalle sonde di contatto e dagli attuatori (servomotori per valvole modulanti, relè di potenza, attuatori per tapparelle e schermature).
- Livello di Controllo o Automation Level: è composto da controllori logici programmabili, regolatori a controllo digitale diretto e moduli di ingresso e uscita che eseguono in locale gli anelli di regolazione di tipo proporzionale, integrativo e derivativo.
- Livello di Gestione o Management Level: comprende i server di supervisione centralizzati, le interfacce uomo-macchina grafiche, i database di storicizzazione dei dati operativi e i moduli software dedicati all'analisi dei consumi energetici.

3.2 Il quadro normativo europeo: la Direttiva EPBD "Case Verdi"
La Direttiva Europea sulla Prestazione Energetica nell'Edilizia, nota come EPBD, Energy Performance of Buildings Directive, impone agli Stati membri di definire strategie a lungo termine per la progressiva decarbonizzazione del parco immobiliare europeo entro il 2050. La direttiva riconosce esplicitamente che il semplice miglioramento dell'involucro edilizio non è sufficiente a raggiungere i target di efficienza prestabiliti, se non viene accompagnato da sistemi intelligenti di gestione e controllo degli impianti.
La direttiva EPBD introduce l'obbligo di dotare gli edifici non residenziali di taglia medio-grande di sistemi di automazione avanzati e stabilisce l'adozione dello Smart Readiness Indicator, SRI, un indicatore sintetico che misura la capacità degli edifici di adattare il proprio funzionamento alle esigenze degli occupanti e alla dinamica della rete energetica.

3.3 La norma UNI EN ISO 52120: i concetti di BACS e TBM
La norma UNI EN ISO 52120-1, intitolata "Prestazione energetica degli edifici - Contributo dell'automazione, del controllo e della gestione degli edifici", sostituisce la precedente norma EN 15232, formalizzando le metodologie per quantificare l'impatto dei sistemi di automazione sui consumi energetici primari degli immobili.
La normativa articola la gestione dell'edificio attraverso due categorie operative fondamentali:
- BACS, Building Automation and Control System: definisce l'insieme dei prodotti hardware, come sensori, attuatori e regolatori, dei software e dei servizi dedicati al controllo automatico, alla misurazione e al monitoraggio dei sistemi di impianto. I BACS agiscono sul controllo immediato e locale dei parametri ambientali, modulando ad esempio la portata d'acqua nelle valvole o la velocità dei ventilatori nelle unità di ventilazione.
- TBM, Technical Building Management: raggruppa le funzioni di gestione tecnica ad alto livello, quali la diagnosi automatica dei guasti, il calcolo degli indici prestazionali KPI energetici, la pianificazione della manutenzione preventiva e l'ottimizzazione del profilo di carico dell'edificio rispetto ai segnali di prezzo dell'energia provenienti dalla rete elettrica esterna.

3.4 La simbiosi operativa tra BACS e TBM
La reale efficienza energetica all'interno di una struttura non deriva dalla presenza isolata di dispositivi BACS o di funzioni TBM, ma dalla loro costante interconnessione bidirezionale.
Il sistema TBM opera come la mente analitica dell'edificio: acquisisce le previsioni meteorologiche a 24 ore tramite servizi di rete, analizza lo storico dei tempi di messa a regime della struttura sulla base dei dati di occupazione passati ed elabora un profilo ottimizzato di preriscaldamento o preraffrescamento. Questo profilo viene inviato direttamente al sistema BACS, il quale modifica dinamicamente i set-point dei singoli regolatori locali, evitando accensioni anticipate o picchi imprevisti di assorbimento elettrico nelle ore in cui l'energia presenta costi maggiori.

4. Esempi pratici di interconnessione multidisciplinare
4.1 Architettura integrata su unico bus di campo
Nel modello tecnico proposto da ThermolutzItalia, la totalità delle funzioni tecnologiche dell'edificio fa capo a un'unica infrastruttura di comunicazione. L'integrazione elimina alla radice la necessità di installare reti di sensori duplicate, riducendo i costi di cablaggio e azzerando le inefficienze dovute a comandi contrastanti, come nell'eventualità in cui l'impianto di riscaldamento cerchi di scaldare un ambiente mentre il sistema di condizionamento è simultaneamente in funzione. In una struttura integrata, la rete si compone di due grandi macro-sezioni coordinate da una piattaforma di supervisione centrale:
- Sezione Termoidraulica: gestisce le valvole di zona della climatizza-

zione, i collettori di distribuzione radiante, i deumidificatori isotermici e i contatori di calore per la contabilizzazione dell'energia.
- Sezione Elettrica e Servizi: integra i sensori di presenza, i moduli di controllo dell'illuminazione con protocollo DALI, gli attuatori per le schermature solari motorizzate e i dispositivi dell'impianto antintrusione.

4.2 Scenario A: Integrazione tra Sicurezza Antintrusione e Climatizzazione
Nel funzionamento tradizionale, l'impianto di climatizzazione segue una programmazione oraria rigida. Se una palazzina ad uso uffici viene svuotata in anticipo rispetto all'orario teorico impostato, l'impianto continua ad erogare potenza termica o frigorifera inutilmente.
Con l'integrazione diretta tra la centralina antintrusione e il bus di campo KNX:
- L'ultimo operatore che abbandona l'immobile attiva la procedura di inserimento dell'allarme tramite tastiera o badge.
- La centralina di sicurezza trasmette istantaneamente un frame dati sul bus di campo registrando lo stato di Edificio Non Occupato.
- Il sistema TBM riceve l'informazione ed elabora la direttiva per il BACS, comandando la commutazione immediata dei cronotermostati di tutti i locali dalla modalità Comfort alla modalità Set-back o Stand-by.
- I servomotori installati sui collettori radianti chiudono i circuiti dei locali interessati, mentre le unità VMC riducono la portata d'aria al valore minimo di ricambio igienico.
- Il risparmio energetico stimato per questa singola logica di integrazione negli edifici ad uso terziario varia mediamente tra il 12 e il 18 per cento su base annua.

4.3 Scenario B: Integrazione tra Stazione Meteo, Illuminazione e Schermature Solari
Le ampie superfici vetrate che caratterizzano l'architettura moderna rappresentano il principale elemento di variabilità del carico termico estivo, a causa dell'impatto diretto della radiazione solare espresso in Watt per metro quadrato.
Attraverso una stazione meteo KNX installata sul tetto dell'edificio abbinata a sensori di luminosità interni:
- La stazione meteo misura un valore di irraggiamento solare superiore a 400 Watt per metro quadrato sulla facciata esposta a Sud-Ovest.
- Il sistema BACS invia un comando diretto agli attuatori delle schermature solari esterne, come veneziane motorizzate orientabili, abbassando il telo ed inclinando le lamelle a un angolo calcolato esattamente in base alla posizione solare istantanea, definita da Azimut ed Elevazione.
- L'apporto termico derivante dall'irraggiamento diretto viene bloccato all'esterno dell'involucro edilizio, impedendo all'energia solare di penetrare nel locale e di sovraccaricare l'impianto radiante a soffitto.
- Contestualmente, il sensore di luminosità posizionato sul piano di lavoro misura il livello di illuminamento presente e, mediante il protocollo DALI integrato nel BMS, modula l'intensità dei corpi illuminanti a LED per mantenere costanti i 500 lux prescritti dalla norma UNI EN 12464-1 per gli ambienti di lavoro, minimizzando il consumo di energia elettrica.

5. Le classi di automazione BACS secondo la Norma ISO 52120
5.1 Definizione delle classi di efficienza A, B, C, D
La norma ISO 52120-1 classifica le prestazioni energetiche dei sistemi di automazione degli edifici suddividendoli in quattro classi di efficienza BACS, valide sia per le tipologie edilizie residenziali sia per quelle non residenziali:
- Classe D (Inefficiente dal punto di vista energetico): comprende gli impianti tecnici del tutto privi di automazione integrata. La regolazione della temperatura viene effettuata manualmente mediante valvole tradizionali installate sui terminali, senza alcuna programmazione oraria o controllo centralizzato.
- Classe C (Standard): rappresenta la linea di base di riferimento per l'edilizia esistente. Include il controllo della temperatura zona per zona o singolo ambiente tramite termostati locali, che tuttavia non comunicano in modo bidirezionale con i generatori centrali di calore o di freddo e sono privi di integrazione multidisciplinare.
- Classe B (Avanzata): prevede la presenza di sistemi BACS integrati e la presenza di una rete di comunicazione strutturata tra i regolatori ambiente e i dispositivi presenti in centrale termica o frigorifera. Comprende le funzioni TBM fondamentali per il monitoraggio dei consumi energetici.
- Classe A (Alta Efficienza Energetica): rappresenta lo stato dell'arte dell'automazione applicata agli edifici. Richiede il controllo multidisciplinare integrato di tutti i servizi tecnologici dell'immobile, includendo climatizzazione, VMC, illuminazione e schermature solari, con logiche adattive basate sull'occupazione effettiva, sul monitoraggio dei contaminanti e sul coordinamento continuo tra BACS e TBM.

5.2 Descrizione dei requisiti funzionali per la norma ISO 52120-1
Analizzando le prestazioni richieste dalla norma nei singoli ambiti impiantistici, emergono differenze sostanziali tra le varie classi di efficienza:
- Controllo del Riscaldamento e del Raffrescamento Ambiente: la Classe D presenta un controllo centrale automatico di base o del tutto assente. La Classe C introduce la regolazione automatica locale tramite valvole termostatiche o termostati di zona non interconnessi. La Classe B implementa la regolazione automatica del singolo ambiente dotata di linea di comunicazione verso la centrale termica per modulare la produzione. La Classe A richiede la regolazione automatica locale integrata con comunicazione bidirezionale verso i generatori e sistemi di rilevamento dinamico della presenza degli occupanti.
- Ventilazione e Trattamento dell'Aria: la Classe D non prevede alcun controllo automatico o si limita a comandi manuali a velocità fissa. La Classe C utilizza un controllo temporizzato base o una regolazione manuale a stadi. La Classe B introduce la modulazione della portata d'aria in funzione del carico interno, misurato tramite sensori di anidride carbonica o VOC. La Classe A esige il controllo dinamico della portata su base occupazione ed inquinanti, perfettamente coordinato con il funzionamento delle schermature solari e dell'impianto di climatizzazione radiante.
- Controllo dell'Illuminazione Artificiale: la Classe D si basa esclusivamente su accensione e spegnimento manuale tramite interruttori a parete. La Classe C impiega controlli temporizzati centralizzati o rilevazioni manuali a tempo. La Classe B introduce il rilevamento automatico di presenza basato su occupazione ed assenza. La Classe A implementa il rilevamento automatico di presenza abbinato alla modulazione continua della luce artificiale in funzione dell'apporto di luce naturale, tecnica definita Daylight Harvesting.
- Schermature Solari: la Classe D e la Classe C prevedono l'azionamento manuale o motorizzato tramite comandi locali semplici. La Classe B aziona le schermature in modo automatico sulla base dei dati di irraggiamento solare presi dalla stazione meteo. La Classe A richiede l'azionamento automatizzato coordinato in tempo reale con l'impianto di climatizzazione HVAC e con il sistema di illuminazione artificiale DALI.
- Gestione TBM o Technical Building Management: la Classe D non prevede alcun monitoraggio energetico. La Classe C implementa la registrazione centralizzata manuale o base dei consumi. La Classe B richiede la storicizzazione automatica dei dati di consumo e la reportistica dei guasti base. La Classe A esige l'analisi avanzata dei consumi energetici, la diagnosi predittiva dei guasti e l'ottimizzazione dinamica e continua dei set-point di funzionamento degli impianti.

5.3 Valutazione analitica delle logiche applicative in Classe A
Nei sistemi in Classe A, la presenza di sensori di occupazione a tecnologia combinata ad infrarossi passivi e microonde consente di modificare la regolazione dei circuiti radianti e dell'aria di integrazione secondo tre stati operativi:
- nello stato di Ambiente Occupato, il locale viene mantenuto al set-point di progetto, corrispondente a 20°C in inverno e a 26°C con il 50 per cento di umidità relativa in estate;
- nello stato di Stand-by, attivato per assenze comprese tra 10 e 60 minuti, il set-point viene shiftato di 1.5°C in aumento o in riduzione, riducendo il salto termico richiesto all'impianto e portando la VMC al minimo igienico;
- nello stato di Ambiente Non Occupato, per assenze superiori a 60 minuti, l'impianto passa in attenuazione con uno shift termico fino a 3°C.

5.4 Gestione dinamica dei circuiti e impianti misti con radiante e VMC
Negli edifici terziari esposti su più fronti si verifica frequentemente la necessità di riscaldare i locali a nord e contemporaneamente raffrescare i locali a sud soggetti ad elevato irraggiamento. I sistemi BACS in Classe A gestiscono questa condizione pilotando i gruppi di miscelazione centralizzati. L'eventuale apertura di una finestra, rilevata da un contatto magnetico sul serramento, interrompe immediatamente l'erogazione di fluido termovettore al singolo circuito. Inoltre, la centralina proprietaria calcola costantemente la temperatura di rugiada mediante la lettura combinata di temperatura e umidità: qualora il margine tra la temperatura dell'acqua in mandata e la temperatura di rugiada scenda al di sotto di 1.5°C, la valvola di miscelazione a tre vie viene modulata per innalzare la temperatura del fluido, sventando il rischio di condensa senza fermare l'impianto.

6. Quadro normativo, incentivi e obblighi legislativi
6.1 L'incentivazione statale: il meccanismo del Conto Termico 3.0
La legislazione italiana ha integrato le direttive europee promuovendo strumenti di incentivazione finanziaria volti a sostenere l'efficientamento energetico degli immobili esistenti. Tra questi, il meccanismo del Conto Termico, nella sua evoluzione denominata Conto Termico 3.0, rappresenta un supporto economico primario per l'installazione di sistemi di Building Automation.
Il Conto Termico eroga un contributo finanziario in conto capitale gestito dal GSE, Gestore dei Servizi Energetici, destinato all'installazione di sistemi BACS all'interno di edifici appartenenti al settore non residenziale, quali uffici, strutture sanitarie, scuole, complessi commerciali e alberghi:
- Aliquota dell'incentivo: la misura riconosce una copertura finanziaria fino al 40 per cento della spesa complessiva sostenuta per la realizzazione dell'intervento.
- Spese ammissibili: la copertura del 40 per cento include l'acquisto di

tutti i dispositivi hardware come sensori, attuatori, nodi bus, controllori e schemi di supervisione, le licenze software, la stesura dei cavi di rete dedicati e le prestazioni professionali per la progettazione, la programmazione e il collaudo.
- Requisiti di accesso: l'impianto realizzato deve garantire il raggiungimento dei requisiti prestazionali minimi previsti per la Classe B di efficienza BACS, ai sensi della norma ISO 52120-1.

6.2 Gli obblighi normativi: il Decreto Requisiti Minimi
Parallelamente agli incentivi economici, il quadro legislativo nazionale fissa obblighi tecnici impellenti mediante il Decreto Requisiti Minimi, il quale recepisce le direttive comunitarie in materia di prestazioni energetiche in edilizia.
Il decreto definisce una soglia dimensionale stringente per gli edifici ad uso non residenziale, sia di nuova costruzione sia sottoposti a ristrutturazioni importanti di primo livello:
Per tutti gli edifici non residenziali in cui la potenza termica utile nominale complessiva degli impianti di riscaldamento o di condizionamento sia superiore a 290 kW, sussiste l'obbligo vincolante di legge di installare un sistema di automazione e controllo BACS conforme almeno alla Classe B di efficienza, secondo le prescrizioni della norma ISO 52120-1.
Questo obbligo normativo trasforma la Building Automation da opzione tecnologica facoltativa a requisito legale inderogabile, indispensabile per l'ottenimento dell'agibilità e dell'Attestato di Prestazione Energetica dell'immobile.

6.3 L'impatto economico e la valorizzazione degli immobili
L'adozione di architetture BACS in Classe A ed in Classe B, sviluppate ed integrate secondo il modello ThermolutzItalia, garantisce un ritorno sull'investimento stimabile mediamente tra i 3 e i 5 anni, in virtù dei risparmi conseguiti sulle bollette energetiche termiche ed elettriche.
I fattori principali che determinano questo risparmio sono così riassumibili:
- Riduzione dei consumi termici per climatizzazione compresa tra il 20 e il 30 per cento, grazie al controllo dinamico ambiente per ambiente e alla gestione del setback da presenza;
- Abbattimento dei consumi elettrici per illuminazione fino al 40 per cento, ottenuto mediante la modulazione DALI e le tecniche di integrazione della luce naturale;
- Allungamento della vita utile delle apparecchiature di centrale, in quanto la rotazione dei generatori e la riduzione dei cicli di accensione e spegnimento evitano fenomeni di usura prematura dei compressori e incrostazioni negli scambiatori.

7. Sintesi operativa Eed evoluzione degli edifici intelligenti
7.1 Percorso concettuale di integrazione tecnologica e normativa
Il percorso tecnologico e normativo illustrato nel corso del convegno si sviluppa attraverso quattro fasi consequenziali che sintetizzano l'approccio dell'ingegneria impiantistica moderna:
- Fase Impiantistica e Termoidraulica: parte dalla nascita dei sistemi radianti a pavimento negli anni '90, prosegue con l'introduzione dei sistemi a soffitto per il raffrescamento estivo nei primi anni 2000 e si completa con l'integrazione aeraulica della VMC e della deumidificazione isotermica.
- Fase di Elettronica e Comunicazione: si sviluppa tramite l'adozione dello standard aperto KNX, la creazione di centraline di termoregolazione proprietarie e la strutturazione di un servizio aziendale che copre la progettazione, la presenza in cantiere, il collaudo diretto e la tele-gestione.
- Fase di Automazione ed Efficienza: implementa le architetture BACS e TBM per il raggiungimento della Classe A di efficienza secondo la norma ISO 52120-1, integrando climatizzazione, illuminazione DALI, stazioni meteo, sensori di presenza e controllo dinamico del dew-point.
- Fase Normativa ed Economica: risponde ai vincoli della Direttiva Europea EPBD per la decarbonizzazione, sfrutta l'incentivo del Conto Termico 3.0 con la copertura del 40 per cento della spesa e soddisfa gli obblighi del Decreto Requisiti Minimi per impianti con potenza superiore a 290 kW.

7. Sintesi operativa ed evoluzione degli edifici intelligenti
7.1 Percorso concettuale di integrazione tecnologica e normativa
Il percorso tecnologico e normativo illustrato nel corso del convegno si sviluppa attraverso quattro fasi consequenziali che sintetizzano l'approccio dell'ingegneria impiantistica moderna:
- Fase Impiantistica e Termoidraulica: parte dalla nascita dei sistemi radianti a pavimento negli anni '90, prosegue con l'introduzione dei sistemi a soffitto per il raffrescamento estivo nei primi anni 2000 e si completa con l'integrazione aeraulica della VMC e della deumidificazione isotermica.
- Fase di Elettronica e Comunicazione: si sviluppa tramite l'adozione dello standard aperto KNX, la creazione di centraline di termoregolazione proprietarie e la strutturazione di un servizio aziendale che copre la progettazione, la presenza in cantiere, il collaudo diretto e la tele-gestione.
- Fase di Automazione ed Efficienza: implementa le architetture BACS e TBM per il raggiungimento della Classe A di efficienza secondo la norma ISO 52120-1, integrando climatizzazione, illuminazione DALI, stazioni meteo, sensori di presenza e controllo dinamico del dew-point.
- Fase Normativa ed Economica: risponde ai vincoli della Direttiva Europea EPBD per la decarbonizzazione, sfrutta l'incentivo del Conto Termico 3.0 con la copertura del 40 per cento della spesa e soddisfa gli obblighi del Decreto Requisiti Minimi per impianti con potenza superiore a 290 kW.

7.2 Conclusioni
L'evoluzione dell'impiantistica moderna impone il definitivo superamento delle tradizionali separazioni tra impianto termoidraulico, impianto elettrico e sistema di automazione. Le sfide poste dalla transizione energetica, dalla Direttiva EPBD e dagli stringenti vincoli normativi nazionali richiedono un approccio globale e multidisciplinare.

Certificazione Ambientale: Le regole del gioco e la valorizzazione degli immobili

Andrea Valentini

Il cambio di paradigma: dall'efficienza energetica alla sostenibilità olistica
Per decenni, il settore delle costruzioni ha associato il concetto di "edilizia sostenibile" esclusivamente al contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento e il raffrescamento. Sebbene l'efficienza energetica mantenga un ruolo primario – godendo di un'unità di misura univoca e immediata (es. chilowattora per metro quadro all'anno, kWh/m² anno), essa rappresenta solo una delle componenti di un sistema molto più ampio.
I moderni protocolli energetico-ambientali impongono un approccio olistico e sistemico, fondato sul concetto di *life cycle thinking* (analisi del ciclo di vita). Progettare e costruire in ottica sostenibile significa considerare l'edificio come un organismo complesso che interagisce con il contesto urbano, con le risorse naturali e, soprattutto, con la salute e il benessere psicofisico delle persone che lo abitano o lo frequentano.
Questo approccio multidisciplinare si traduce nella cosiddetta "tripla bottom line", un equilibrio fondato su tre pilastri interdipendenti:
- Attenzione e rispetto per l'ambiente: riduzione dei consumi di risorse, delle emissioni climalteranti e della produzione di rifiuti.
- Cura e attenzione verso le persone: garanzia di comfort termo-igrometrico, acustico, visivo, salubrità dell'aria interna e incremento della produttività intellettuale.
- Sviluppo e prosperità economica: ottimizzazione dei costi di gestione, riduzione delle responsabilità, incremento del valore patrimoniale del bene e accesso a condizioni finanziarie agevolate.

L'impatto macro-ambientale del settore edilizio (Dati globali e nazionali)
I dati presentati nel corso del convegno descrivono un quadro in cui l'industria delle costruzioni e dell'ambiente costruito risulta essere uno dei settori a maggiore impatto ecologico sul pianeta.
- L'estrazione globale di materia: Come evidenziato dal *Circularity Gap Report*, in soli cinquant'anni l'uso globale dei materiali è quasi quadruplicato, superando la crescita demografica. Si è passati dai 26-28,6 miliardi di tonnellate consumate nel 1972 ai 54,9 miliardi del 2000, fino a superare i 100 miliardi di tonnellate nel 2019. Se non si modificano i modelli produttivi (*business-as-usual*), l'estrazione è proiettata a superare una soglia compresa tra i 170 e i 184 miliardi di tonnellate entro il 2050.
- L'impatto in Italia: Le elaborazioni di *Italy for Climate* collocano il comparto edilizio tra i primissimi responsabili delle pressioni ambientali nazionali. Gli edifici in Italia sono responsabili del 44% dei consumi energetici finali e generano circa il 28% delle emissioni di gas serra (gas clima-alteranti), ponendosi su livelli analoghi o superiori a settori tradizionalmente considerati critici come l'industria manifatturiera (37%) e i trasporti (26%).
A fronte di tale impatto, l'adozione di un edificio "green" certificato consente di raggiungere traguardi prestazionali straordinari rispetto allo standard costruttivo convenzionale:
- Riduzione del consumo di energia: dal 25% al 50% in meno.
- Abbattimento delle emissioni di CO^2: dal 35% al 40% in meno.
- Risparmio idrico potabile: fino al 40% in meno.
- Riduzione dei rifiuti da costruzione e demolizione: fino al 70% in meno di materiale avviato a discarica.

I sistemi di rating energetico-ambientali: LEED e GBC Italia a confronto
Per misurare in modo oggettivo la sostenibilità di un manufatto edilizio, la comunità internazionale ha sviluppato specifici sistemi di certificazione volontaria gestiti da enti terzi indipendenti.

Il Protocollo LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)
Nato negli Stati Uniti su impulso dello *US Green Building Council* (USGBC) e verificato operativamente dal *Green Business Certification Institute* (GBCI), il sistema LEED è oggi lo standard di certificazione energetico-ambientale più diffuso e autorevole al mondo. La sua struttura è articolata in famiglie di protocolli mirate alle diverse tipologie di intervento:
- Building Design and Construction (BD+C): per nuove costruzioni e grandi ristrutturazioni, suddiviso in categorie specifiche per edifici commerciali, scuole, strutture sanitarie, centri dati, strutture ricettive (*hospitality*), logistica (*warehouses*) e residenze (*homes / multifamily midrise*).
- Interior Design and Construction (ID+C): dedicato agli spazi interni commerciali, retail e ricettivi.
- Building Operations and Maintenance (O+M): focalizzato sull'efficientamento e sulla gestione sostenibile di edifici esistenti già in esercizio.
- Neighborhood Development (ND): applicato alla scala urbana e alla progettazione sostenibile dei quartieri.

A seconda del punteggio accumulato nelle diverse categorie, l'edificio ottiene un livello crescente di certificazione: *Certified* (40-49 punti), *Silver* (50-59 punti), *Gold* (60-79 punti) e *Platinum* (80+ punti).

Il contributo del Green Building Council Italia (GBC Italia)
Costituito per adattare i rigorosi standard internazionali alle peculiarità normative, climatiche, storiche e culturali del territorio italiano, il GBC Italia promuove una filiera dell'edilizia sostenibile attraverso l'adattamento e lo sviluppo di protocolli nazionali specifici (quali *GBC Home, GBC Condomini, GBC Quartieri* e *GBC Historic Building*). I professionisti italiani possono conseguire qualifiche dedicate come *GBC Home AP* o *GBC Historic Building AP*, operando in stretta sinergia con i corrispondenti titoli internazionali (*LEED AP*).

Analisi approfondita delle aree tematiche dei protocolli
I protocolli di certificazione non si limitano a valutare il singolo componente, ma analizzano l'edificio attraverso checklist analitiche suddivise in aree tematiche. Ciascuna area si compone di prerequisiti obbligatori (inderogabili per accedere alla certificazione) e di crediti opzionali.

Sustainable Sites (Siti Sostenibili)
Questa area valuta la relazione tra l'edificio e il contesto circostante. I criteri mirano a disincentivare l'edificazione su suoli agricoli o ecologicamente sensibili, a promuovere la bonifica di aree dismesse (*brownfield sites*), a mitigare l'effetto di isola di calore urbana attraverso coperture riflettenti o verdi, a gestire le acque meteoriche in invaso e a favorire l'intermodalità e l'accesso ai trasporti pubblici, al car sharing e alla mobilità ciclabile.

Water Efficiency (Gestione Efficiente delle Acque)
La risorsa idrica è al centro di una crescente pressione climatica. Il protocollo richiede una riduzione drastica dei consumi d'acqua sia all'esterno (attraverso sistemi di irrigazione intelligenti a basso impatto e essenze vegetali autoctone a ridotto fabbisogno idrico) sia all'interno (tramite l'installazione di rubinetterie, sanitari e apparecchiature a ridotto flusso). È inoltre obbligatoria la contabilizzazione e il monitoraggio puntuale dei consumi idrici a livello di edificio.

Energy & Atmosphere (Energia e Atmosfera)
Rappresenta il cuore tecnologico dell'impiantistica. I prerequisiti includono:
- Il Commissioning di base e avanzato: ovvero le procedure formalizzate di collaudo, messa in esercizio e verifica funzionale di tutti i sistemi impiantistici (HVAC, illuminazione, automazione) per garantire che operino secondo i requisiti di progetto.
- Il raggiungimento di prestazioni energetiche minime migliorative rispetto alle linee guida di riferimento (*baseline*).
- La contabilizzazione energetica dettagliata.
- La gestione ecologica dei fluidi refrigeranti, bandendo o limitando l'uso di sostanze lesive per l'ozono stratosferico e ad alto potenziale di riscaldamento globale (*GWP*). I crediti successivi premiano l'ottimizzazione energetica spinta, la produzione in loco da fonti rinnovabili, l'adesione a programmi di risposta alla domanda (*Demand Response*) e l'acquisto di energia verde certificata.

Materials & Resources (Materiali e Risorse)
L'area promuove l'economia circolare nel settore edile. Richiede lo stoccaggio e la raccolta differenziata dei materiali riciclabili in fase d'esercizio e una rigorosa pianificazione della gestione dei rifiuti di cantiere tramite demolizioni selettive. Vengono premiati i prodotti edilizi dotati di Dichiarazione Ambientale di Prodotto (*EPD - Environmental Product Declaration*), i materiali con elevata percentuale di contenuto riciclato o recuperato, e la tracciabilità della filiera di approvvigionamento delle materie prime.

Indoor Environmental Quality (Qualità Ambientale Interna - IEQ)
La salubrità degli spazi confinati (*Indoor Air Quality - IAQ*) è decisiva per la salute e il benessere degli occupanti. I protocolli impongono tassi di ricambio d'aria minimi, sistemi di filtrazione ad alta efficienza e il divieto di fumo negli spazi interni. Per incrementare i punteggi si utilizzano materiali, pitture, vernici, adesivi e pannelli a bassissima emissione di Composti Organici Volatili *(VOC e SVOC*), prevenendo rischi di allergie o sindromi dell'edificio malato (*Sick Building Syndrome*). A ciò si aggiunge la rigorosa verifica del comfort termo-igrometrico, dell'acustica interna, dell'illuminazione artificiale controllata e dell'apporto ottimale di luce naturale e viste panoramiche di qualità.

Il valore economico e le dinamiche del mercato immobiliare
Un aspetto centrale trattato nel corso del convegno riguarda la bancabilità e la valorizzazione economica degli immobili verdi. Contrariamente a quanto si poteva ritenere in passato, l'investimento iniziale aggiuntivo per realizzare un edificio certificato viene ampiamente ripianato grazie a una corretta fase di progettazione integrata *(integrated design process*), che riduce i costi operativi e di manutenzione lungo l'intero ciclo di vita dell'opera.

Il Premium Price immobiliare
Una ricerca di mercato di rilievo nazionale presentata durante l'evento (condotta da *Rebuild, CBRE* e *GBCI* sulle piazze immobiliari di Milano, con particolare riferimento alle aree di *Garibaldi Repubblica* e del *Central Business District*) ha dimostrato l'esistenza di un differenziale di valore statisticamente significativo per gli immobili certificati rispetto a quelli standard:
- Gli immobili certificati (es. standard LEED Gold o Platinum) registrano un premium price compreso regolarmente tra il 7% e l'11% in più rispetto agli immobili non certificati comparabili.

I tempi di assorbimento e la riduzione dello sfitto
Il mercato premia la qualità ambientale anche in termini di rapidità di commercializzazione:
- Per gli immobili certificati, circa l'80% delle superfici viene locato o venduto entro i primi 6 mesi dall'immissione sul mercato, contro percentuali inferiori al 13-21% registrate dagli edifici privi di certificazione nello stesso arco temporale.
- Il tasso di inutilizzo e sfitto a due anni e mezzo dalla commercializzazione si attesta a una percentuale inferiore al 7% per il patrimonio certificato, a fronte di tassi superiori al 14% per l'edilizia ordinaria.

Impatti quantificati sul Sistema-Paese (Impact Report)
I dati dell'*Impact Report di GBC Italia* certificano i benefici macroscopici abilitati dalla diffusione dei protocolli energetico-ambientali su scala nazionale (al 2030 in scenario a crescita costante):
- Oltre 474.000 tonnellate di CO^2: potenzialmente risparmiate ogni anno.
- Circa 3,6 miliardi di litri d'acqua potabile risparmiati annualmente.
- Oltre 189 milioni di euro di esternalità negative evitate al Sistema-Paese ogni anno in termini di costi ambientali ed energetici esterni.
- Riduzione di centinaia di migliaia di tonnellate di rifiuti da cantiere e incremento cospicuo dell'impiego di materiali riciclati.

Il merito creditizio e i mutui verdi (Green Mortgages)
La sostenibilità edilizia è oggi un driver fondamentale per il settore bancario e finanziario. Attraverso iniziative europee come il programma Smarter Finance for Families, gli istituti di credito riconoscono un vero e proprio merito creditizio agevolato. Gli sviluppatori immobiliari e gli acquirenti finali che investono in Green Home certificate possono accedere a condizioni di finanziamento privilegiate, tassi di interesse d'favore e una maggiore disponibilità di capitale da parte delle banche, in quanto il rischio di svalutazione dell'immobile nel tempo risulta drasticamente ridotto.

L'integrazione con la Pubblica Amministrazione e la convergenza con i CAM Edilizia
Un tema di grande attualità emerso nel corso dell'intervento è la progressiva convergenza tra i sistemi di certificazione volontari (LEED, GBC) e gli obblighi normativi imposti dal legislatore italiano per i contratti pubblici, primo fra tutti il quadro dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) Edilizia (disciplinati dal D.M. 23 giugno 2022).
La Pubblica Amministrazione – a partire da soggetti istituzionali come l'Agenzia del Demanio fino agli enti locali – sta recependo stabilmente l'obbligo di applicare i CAM nei bandi di gara per nuove costruzioni, ristrutturazioni e manutenzioni straordinarie di edifici pubblici. Molte stazioni appaltanti scelgono di fare un ulteriore salto di qualità, richiedendo nei disciplinari di gara il contestuale raggiungimento di una certificazione energetico-ambientale di parte terza (come i protocolli GBC o LEED). Ciò comporta che l'impresa appaltatrice sia tenuta a dimostrare la conformità attraverso un duplice binario:
- Verifica documentale: schedature tecniche dei materiali (es. isolanti termici e acustici, calcestruzzi, laterizi, pitture e vernici a basse emissioni di VOC conformi alle norme UNI EN 16516 o UNI ISO 16000-9), tracciabilità delle EPD e piani di gestione dei rifiuti di cantiere.
- Verifica in sito: controlli rigorosi durante le fasi di esecuzione delle opere, collaudi impiantistici e misurazioni strumentali della qualità dell'aria interna e delle prestazioni acustiche.

Il fiore all'occhiello del know-how italiano: Il protocollo GBC Historic Building
L'Italia possiede un patrimonio storico, architettonico e monumentale inestimabile, la cui tutela rappresenta un impertescibile vincolo culturale. Tuttavia, la rigenerazione di tali immobili sconta spesso la difficoltà di applicare standard energetici ideati per edifici contemporanei. Per colmare questo vuoto, GBC Italia ha sviluppato il protocollo GBC Historic Building, uno strumento pionieristico a livello internazionale che coniuga le esigenze della sostenibilità ecologica con il massimo rispetto dei principi del restauro conservativo.

Struttura e aree di valutazione della valenza storica
Il protocollo adotta una struttura a punteggio (massimo 20 punti specifici dedicati alla categoria) che si integra con le aree tradizionali (Siti, Acque, Energia, Materiali, Qualità Ambientale Interna):
- Indagini conoscitive preliminari (Prerequisito obbligatorio): analisi

storico-critiche, rilievi geometrici e strutturali approfonditi.
- Indagini conoscitive avanzate (Crediti 1.1 - 1.3): comprendono diagnosi energetiche di livello avanzato (indagini termografiche e valutazione della conduttanza termica in opera), indagini diagnostiche sui materiali e sui fenomeni di degrado, nonché il monitoraggio strutturale continuo.
- Reversibilità dell'intervento conservativo (Credito 2): premia le soluzioni tecnologiche e materiche che possono essere rimosse o modificate in futuro senza danneggiare l'integrità della fabbrica storica.
- Compatibilità chimico-fisica, strutturale e d'uso (Crediti 3.1 - 3.3): verifica l'idoneità delle malte per il restauro, la compatibilità strutturale dei rinforzi antisismici rispetto alla struttura esistente e la sostenibilità della nuova destinazione d'uso rispetto al contesto insediativo.
- Cantiere di restauro sostenibile e Manutenzione (Crediti 4 e 5): adozione di pratiche di cantiere a basso impatto ambientale e stesura di un piano di manutenzione programmata a lungo termine.
- Competenze specialistiche (Credito 6): obbligatorietà dell'apporto professionale di specialisti in beni architettonici e del paesaggio.

8.2 Casi studio ed esperienze applicative in Italia

L'efficacia e la concretezza del protocollo GBC Historic Building sono testimoniate da interventi di primissimo piano realizzati sul territorio nazionale e citati negli atti:
- Le Scuderie della Rocca Benedettina di Sant'Apollinare a Perugia: il primo edificio al mondo ad aver ottenuto la certificazione GBC Historic Building, frutto di un rigoroso lavoro accademico e applicativo guidato da gruppi di ricerca universitari.
- Il MEIS (Museo Nazionale dell'Ebraismo Italiano e della Shoah) a Ferrara: esempio di recupero museale sostenibile inserito in un complesso storico fortificato.
- Palazzo Gulinelli (Ferrara) e il monumentale Palazzo Silvestri-Rivaldi (Roma).
- La Chiesa di San Giuseppe dei Falegnami a Roma: il primo luogo di culto storico ad aver aderito e completato il percorso secondo il protocollo GBC Historic Building.
- L'intervento "Isolato 45" nel centro storico di Bari: modello avanzato di restauro e sostenibilità urbana nel cuore di una città antica.

9. Conclusioni e prospettive future

In conclusione, l'intervento dell'Arch. Andrea Valentini al convegno Assform ha offerto una panoramica esaustiva e rigorosa su come la certificazione ambientale sia divenuta l'imprescindibile metrica di riferimento per il mercato immobiliare e per la Pubblica Amministrazione.

I protocolli energetico-ambientali non rappresentano un costo o un appesantimento burocratico, bensì una straordinaria opportunità strategica: garantiscono edifici più sani, confortevoli e resilienti ai cambiamenti climatici, riducono drasticamente i consumi e le emissioni climalteranti, tutelano il patrimonio storico e, non ultimo, incrementano in modo misurabile il valore patrimoniale e la commerciabilità degli immobili, agevolando l'accesso al credito bancario attraverso canali finanziari sempre più orientati ai criteri ESG (*Environmental, Social, and Governance*).

Assform Editore