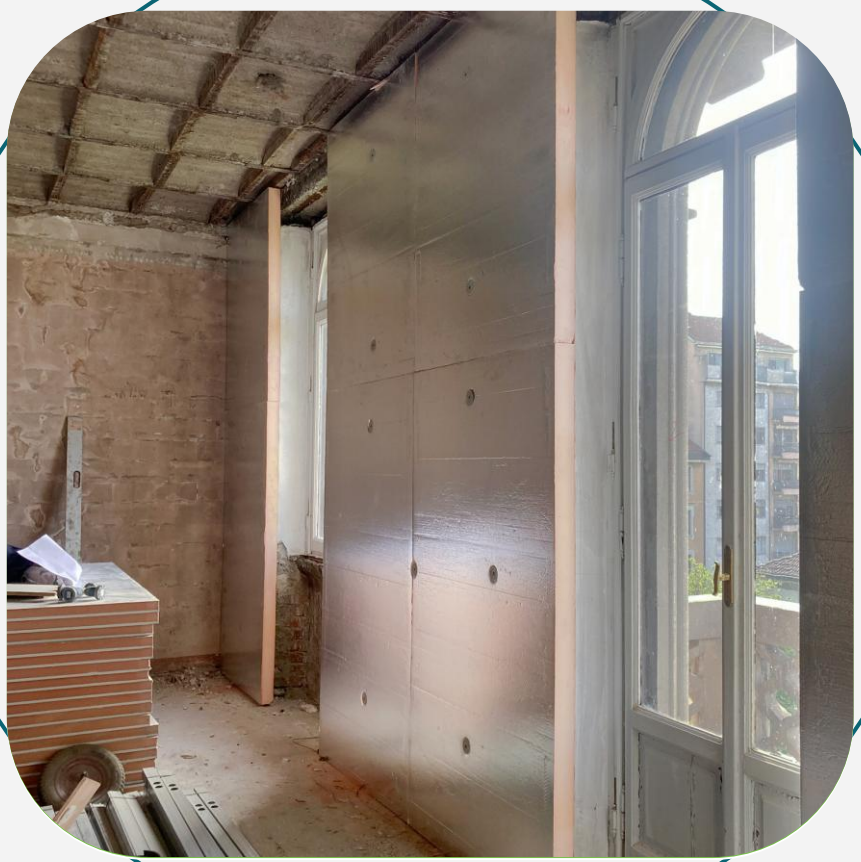
ARTICOLO TECNICO

Efficientamento energetico dall'interno: un caso reale di involucro nZEB senza cappotto esterno



Tutti i diritti sono riservati.
Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta
ANIT - Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico — www.anit.it

Efficientamento energetico dall'interno: un caso reale di involucro nZEB senza cappotto esterno

di Ing. Roberto Faina | Case history Milano, 2025

1 Introduzione

Una quota rilevante del patrimonio edilizio residenziale italiano è concentrata nelle grandi città, spesso in edifici costruiti tra gli anni Venti e i Settanta del Novecento: murature massive, superfici disperdenti non isolate, consumo energetico che nelle condizioni originarie colloca questi immobili sistematicamente nelle classi F e G. La ristrutturazione energetica di questo stock rappresenta uno degli obiettivi centrali della Direttiva Europea EPBD IV, che definisce il percorso verso edifici ad altissima prestazione energetica e impone scadenze sempre più ravvicinate per le ristrutturazioni profonde di primo livello.

Il problema operativo, tuttavia, è noto a chiunque operi su questi immobili: l'applicazione del cappotto esterno — soluzione più diffusa e spesso economicamente vantaggiosa — è in alcuni casi frequentemente impraticabile. Vincoli architettonici imposti dalle soprintendenze, facciate storiche tutelate, condomini con impossibilità di delibera unanime, spazi condominiali insufficienti: questi ostacoli impediscono l'accesso alla soluzione più comune a una quota significativa degli edifici che ne avrebbero più bisogno.

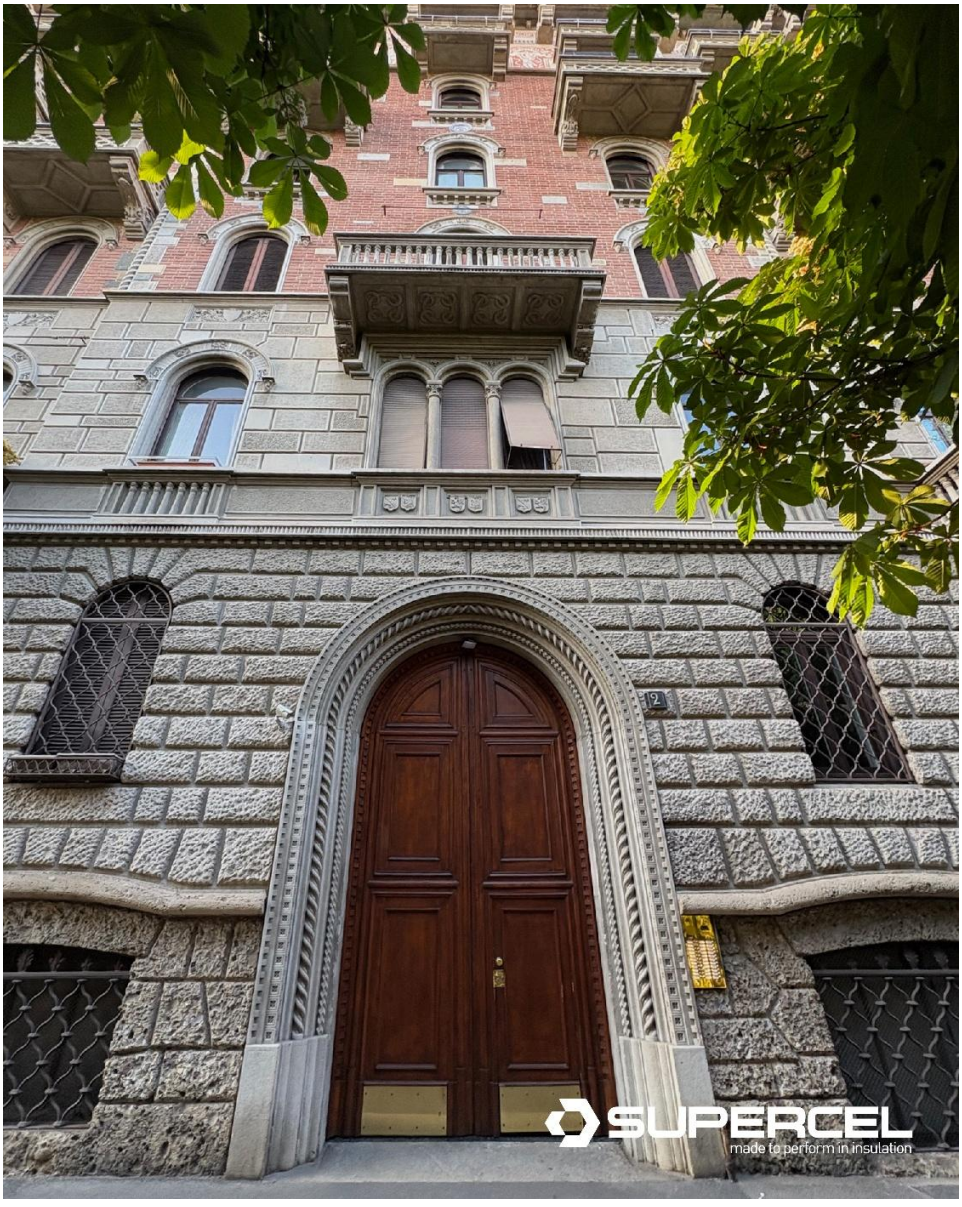
Il presente articolo analizza un caso reale di efficientamento energetico integrale eseguito esclusivamente dall'interno, su un appartamento milanese del 1930 con murature in pietra da 60 cm, documentando le scelte progettuali, i valori di trasmittanza raggiunti, il miglioramento di classe energetica e le implicazioni per la futura transizione elettrica dell'impianto termico. L'obiettivo è dimostrare, attraverso dati di calcolo verificati, che con le tecnologie isolanti oggi disponibili è possibile raggiungere livelli di prestazione nZEB anche operando esclusivamente sull'involucro interno, a condizione di selezionare materiali ad altissima efficienza termica e di adottare un approccio progettuale rigoroso nella continuità dell'involucro.

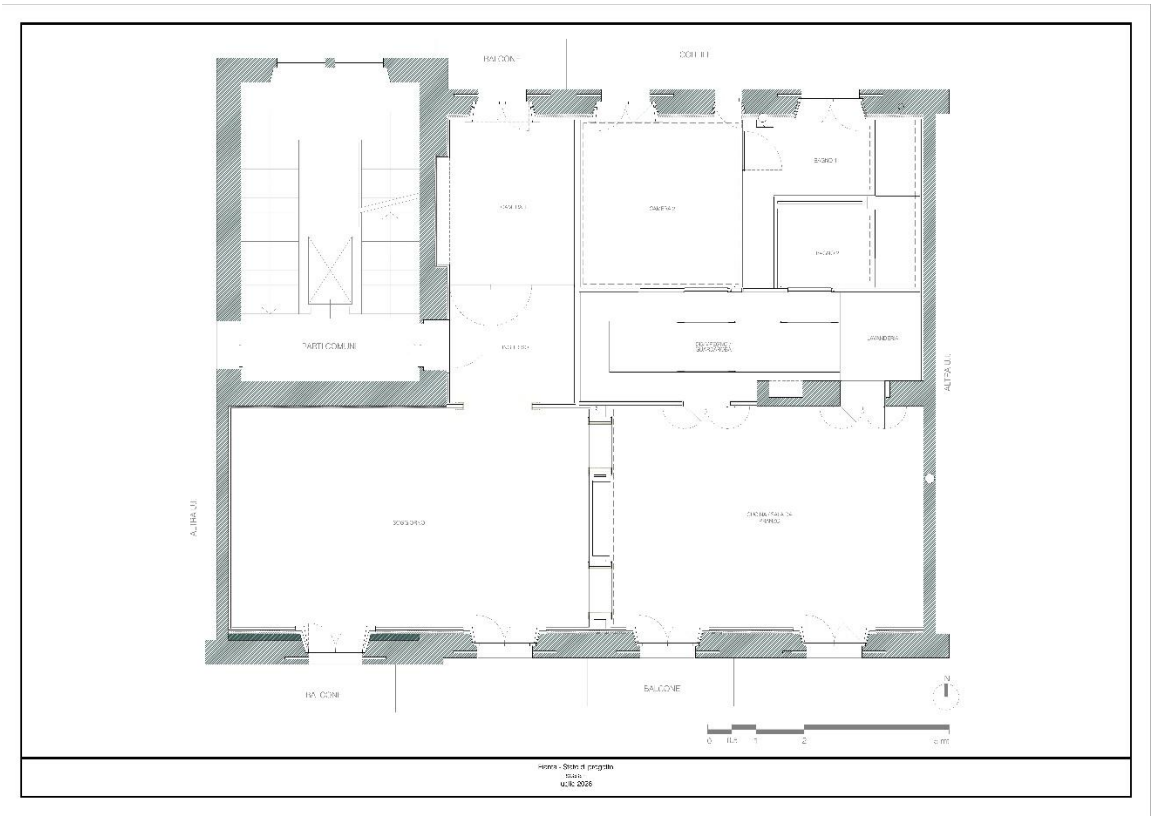
2 L'immobile: descrizione e diagnosi energetica

2.1 Caratteristiche costruttive

L'edificio è una palazzina costruita nel 1930, sita a Milano, con murature perimetrali in pietra piena da 60 cm. L'appartamento analizzato si trova al 4° piano di un edificio di 5 livelli, con scambi termici verso ambienti riscaldati su tre lati (superiore, inferiore, est e parzialmente ovest) e verso la scala interna. La superficie interna riscaldata è di 126,42 m², per un volume riscaldato di 537 m³.

La conformazione delle facciate e i relativi vincoli architettonici escludono categoricamente qualsiasi intervento dall'esterno. Le superfici trasparenti originarie erano del tipo a vetro singolo, con trasmittanza stimata U ≈ 3,0 W/m²K, prive di qualsiasi trattamento basso-emissivo.





2.2 Stato energetico ante operam

L'APE ante operam, redatta nel 2024, classificava l'immobile in classe F con un indice di prestazione energetica per il riscaldamento $EP_{H,nd}$ Eph,nd = 82,61 kWh/m²anno, corrispondente a un fabbisogno termico annuo di circa 10.408 kWh/anno. I consumi reali rilevati dalle bollette condominiali negli ultimi due anni hanno confermato la stima dell'APE con buona approssimazione.

Il sistema di riscaldamento era quello centralizzato condominiale, alimentato a gas, con generatore da 350 kW del 2006 a basso rendimento (η ≈ 67%), con emissione a termosifoni a convezione naturale. Non erano presenti impianti di condizionamento estivo né di ventilazione meccanica controllata.

2.3 Valutazione della compatibilità con la transizione elettrica — stato ante operam

Come primo step diagnostico è stato valutato se l'immobile nelle condizioni esistenti fosse compatibile con una futura transizione elettrica ed eliminazione dei combustibili fossili, applicando la relazione (stima empirica approssimata da $EP_{H,nd}$, derivante da UNI TS 11300-1) semplificata:

$$P_PDC = [Eph,nd \cdot S \cdot (Tvol - Tmin)] / (°GG \cdot hfunz)$$

Con i parametri di Milano, zona climatica E (Tvol = 20°C, Tmin = –5°C, °GG = 2.500, hfunz = 10 h/gg) si otteneva una potenza termica richiesta di circa 11 kW termici, equivalente a circa 3,7 kW elettrici (COP = 3, con regime ad alta temperatura per compatibilità con i termosifoni). Una tale potenza per il solo riscaldamento, sommata agli utilizzi tipici dell'immobile, avrebbe richiesto un contratto elettrico di potenza superiore ai 6 kW con allaccio trifase, il rifacimento parziale dell'impianto elettrico e un'unità esterna della PDC di dimensioni incompatibili con i balconi disponibili, per un investimento complessivo stimabile attorno ai 20.000 euro. Questo scenario ha orientato la decisione progettuale verso l'efficientamento prioritario dell'involucro.

3 Criteri di selezione del materiale isolante

3.1 Contesto applicativo e vincoli di progetto

L'isolamento dall'interno impone una serie di vincoli tecnici che non si pongono negli interventi dall'esterno. Innanzitutto, lo spessore disponibile è limitato: ogni centimetro sottratto allo spazio abitabile è permanente e, in un immobile di pregio, economicamente rilevante. In secondo luogo, il materiale isolante si trova a contatto diretto con l'ambiente interno, il che impone di considerare le prestazioni in caso di incendio e le emissioni di composti organici volatili come variabili di selezione non rinunciabili. Infine, la posizione interna dell'isolante implica un regime igrometrico differente rispetto all'esterno, con gradiente termico e pressione del vapore che richiedono particolare attenzione alla gestione della diffusione vapore e alla durabilità delle proprietà isolanti nel tempo.

Con un perimetro di pareti da isolare di circa 32 metri lineari, la scelta di un materiale isolante con conducibilità termica dichiarata λD = 0,019 W/mK può arrivare a un risparmio di spessore di ingombro che può comportare diversi metri quadri di superficie calpestabile in meno sull'intero perimetro. La conducibilità termica non era dunque solo un parametro di prestazione energetica, ma una variabile con impatto economico diretto e quantificabile.

3.2 Analisi comparativa dei principali materiali isolanti

La tabella seguente evidenzia i parametri considerati per la scelta del materiale isolante preso in considerazione per applicazione da interno. I valori di conducibilità termica sono stati ricavati dalle Dichiarazioni di Prestazione e dai bollettini tecnici dei prodotti raccomandati per isolamento pareti da interno dei principali produttori dei materiali selezionati.

Materiale isolante	λ_D (W/m·K)	Euroclasse EN 13501-1	Fumi	Comportamento al fuoco	Stabilità λ nel tempo
Resina fenolica espansa (PF)	0,019–0,021	B	s1–d0	Termoindurente – autoestinguente, fumi bianchi non tossici	Alto

3.3 Criteri di esclusione e scelta

La selezione è stata condotta secondo tre criteri indipendenti e non negoziabili, ordinati per rilevanza nel contesto specifico:

Conducibilità termica. Il vincolo architettonico — assenza di cappotto esterno — trasla interamente sull'interno il compito di raggiungere le trasmittanze previste dal nuovo DM Requisiti Minimi in vigore dal 3 giugno 2026 per la zona climatica E (U ≤ 0,28 W/m²K comprensiva di ponti termici standard; U ≤ 0,23 W/m²K per detrazioni fiscali). In questo contesto, materiali con λ_D < 0,021 W/m·K permettono di rispettare i limiti normativi entro spessori accettabili in un'applicazione residenziale interna.

Reazione al fuoco. Secondo la classificazione europea EN 13501-1, la classificazione B-s1,d0 rappresenta il massimo raggiungibile da un materiale organico o sintetico. Il parametro s (smoke) valuta l'opacità e la velocità di emissione dei fumi: s1 indica produzione bassa o nulla. Il parametro d (dripping) valuta il gocciolamento di particelle ardenti: d0 indica assenza. Per un isolante posato su parete interna — anche se protetto da cartongesso — questi parametri hanno un impatto diretto sulla sicurezza degli occupanti in caso di incendio, in particolare sulla percorribilità delle vie di fuga.

Stabilità delle proprietà nel tempo. Studi di invecchiamento accelerato condotti secondo ISO 11561 e relative norme EN materiale-specifiche indicano variazioni del valore di resistenza termica a lungo termine nell'ordine del 18–20% per la schiuma fenolica e del 23–26%. Il valore di λ dichiarato nei certificati prestazionali già incorpora questo fattore di invecchiamento (LTTR — Long Term Thermal Resistance), ma è importante che il progettista verifichi su quale valore — iniziale o LTTR — è basata la dichiarazione di prestazione del prodotto. Nelle applicazioni da interno, il rischio di degradazione per assorbimento di umidità è un elemento addizionale da considerare.

Sulla base di questi criteri, la resina fenolica espansa a celle chiuse è stata scelta come materiale per questa specifica applicazione: conducibilità termica dichiarata λ_D = 0,019 W/m·K nello spessore proposto di 8 cm (UNI EN 13166), classificazione di reazione al fuoco B-s1,d0 (EN 13501-1), struttura termoindurente a celle chiuse con resistenza intrinseca al vapore, freno vapore integrato disponibile. La classificazione B-s1,d0 è una caratteristica intrinseca della resina fenolica — non dipende dall'aggiunta di ritardanti di fiamma — derivante dalla natura chimica del polimero termoindurente, che in combustione carbonizza formando uno strato protettivo superficiale e non alimenta le fiamme.

4 Gli interventi sull'involucro: descrizione costruttiva

4.1 Strategia generale e gestione dei ponti termici

L'approccio progettuale ha puntato alla continuità dell'isolante su tutto l'involucro interno — pareti, soffitto e pavimento — con l'obiettivo di minimizzare i ponti termici residui. È opportuno sottolineare, con la trasparenza che un articolo tecnico richiede, che l'isolamento dall'interno non consente l'eliminazione totale dei ponti termici strutturali: la muratura portante rimane esposta verso l'esterno lungo il suo spessore, e i nodi parete-solaio non sono completamente interrompibili senza interventi strutturali non praticabili in questo contesto.

La strategia adottata ha mirato a ridurre la trasmissione termica lineare residua attraverso la continuità geometrica degli strati isolanti, raccordando i piani verticali con quelli orizzontali senza soluzione di continuità. A tal fine sono state rimosse sia la soletta di soffitto che quella di pavimento, intervento che ha permesso di raccordare l'isolamento a parete con quello a soffitto e a pavimento fino al perimetro. Il punto più critico rimane il nodo al davanzale dei serramenti: l'innalzamento del piano di calpestio — conseguenza inevitabile dell'isolamento a pavimento — ha generato un gradino in corrispondenza degli infissi e dell'ingresso. Tuttavia, lo strato inferiore del nodo risulta isolato, riducendo significativamente la dispersione rispetto alla condizione originaria.

Rispetto ad analoghi valori stimati in letteratura, si può assumere che il coefficiente di trasmissione termica lineare ψ_e del nodo possa scendere dal valore di 0,75–0,80 W/mK (non isolato) al valore di 0,16–0,18 W/mK (isolato), con una riduzione della dispersione termica lineare nell'ordine dell'80%.

4.2 Isolamento delle pareti perimetrali

Le pareti perimetrali esposte all'esterno — quelle verso nord, ovest e le esposizioni intermedie — sono state isolate con pannelli in resina fenolica espansa di spessore 80 mm (λ_D = 0,019 W/mK), dotati di freno vapore integrato in alluminio. La posa è avvenuta a secco mediante incollaggio e tassellatura a 7 punti per pannello. La non planarità tipica delle murature storiche in pietra è stata compensata tramite la costruzione di un telaio metallico con intercapedine d'aria a spessore variabile, su cui è stato posato il cartongesso di finitura. L'intervento ha permesso di operare interamente a secco, senza demolizioni umide, recuperando la planarità delle superfici interne.

Le pareti verso il vano scala — caratterizzate da un differenziale termico inferiore rispetto alle pareti verso l'esterno — sono state trattate con pannelli in resina fenolica espansa di spessore 40 mm (λ_D = 0,021 W/mK).

4.3 Isolamento a soffitto

L'appartamento si trova al 4° piano di un edificio di 5 livelli, con scambio verso ambiente riscaldato superiore. La priorità progettuale è stata pertanto data all'isolamento acustico piuttosto che a quello termico. Si è optato per pannelli in lana di vetro a celle aperte, spessore 100 mm, completati da controsoffitto. Le altezze interne originarie di circa 3,39 m — caratteristiche del periodo costruttivo — hanno reso possibile questo sacrificio di quota senza compromettere le condizioni di fruibilità degli spazi.

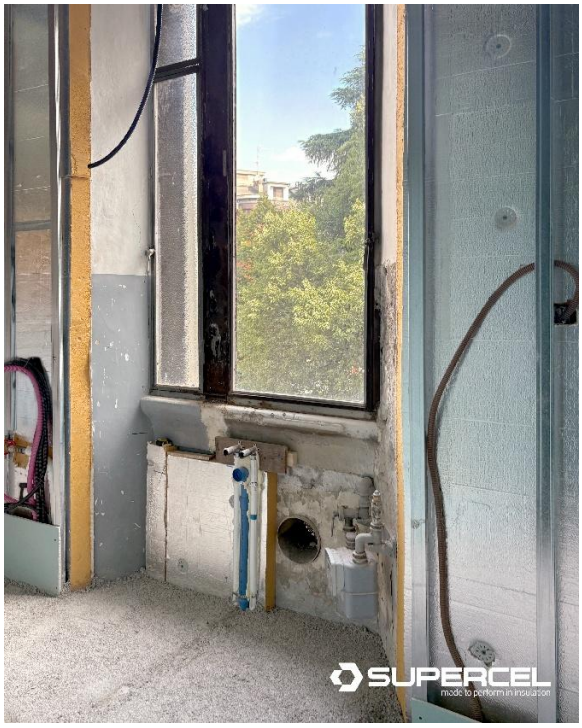
4.4 Isolamento a pavimento e impianto radiante

Dopo la rimozione della soletta originaria, è stato posato un sistema di pannelli isolanti in XPS spessore 50–60 mm, con serpentina incorporata per il riscaldamento radiante a bassa temperatura (mandata a 35°C). Il raccordo con l'isolamento a parete perimetrale è stato realizzato in continuità verso il bordo, per chiudere il nodo parete-pavimento e minimizzare la dispersione termica lineare residua. Una striscia perimetrale in polietilene espanso assorbe le dilatazioni termiche e interrompe il contatto diretto tra massetto e parete. La finitura è a massetto da 3 cm — con giunti di dilatazione — e parquet certificato per riscaldamento radiante. Come conseguenza inevitabile dell'innalzamento del piano di calpestio è presente un gradino in corrispondenza dei serramenti e dell'ingresso.

4.5 Sostituzione degli infissi e trattamento delle imbotti

I serramenti originari (vetro singolo, $U_w \approx 3{,}0$ W/m²K) sono stati sostituiti con finestre a triplo vetro a taglio termico, con vetri basso-emissivi da 4 mm, camere sigillate riempite di gas Argon e distanziale tipo Warm-Edge per prevenire la condensa perimetrale. La trasmittanza dichiarata dal costruttore è di 0,8 W/m²K; nel calcolo APE è stato adottato un valore prudenziale di 1,2 W/m²K per operare in condizioni conservative. Per preservare l'estetica originaria del palazzo, gli oscuranti sono stati mantenuti e restaurati con la finitura originale.

Le imbotti delle finestre sono state isolate con pannelli in resina fenolica espansa da spessore 30 mm, contribuendo alla riduzione del ponte termico perimetrale del serramento — tipicamente il nodo più critico in un intervento da interno su serramenti nuovi.



5 Risultati: trasmittanze e APE

5.1 Simulazioni di trasmittanza in parete corrente

Le simulazioni di trasmittanza in parete corrente sono state condotte con il software PAN distribuito da ANIT, considerando la stratigrafia originale (muratura in pietra da 60 cm) e le configurazioni post-operam con diversi spessori di isolante in resina fenolica espansa.

Configurazione stratigrafica	Spessore isolante	Spessore totale	λd (W/m·K)	U (W/m²·K)
Parete esistente (pietra 60 cm, ante operam)	—	—	1,30	2,152
+ 4 cm PF (freno vapore integrato)	4 cm	8 cm tot.	0,021	0,408
+ 6 cm PF (freno vapore integrato)	6 cm	10 cm tot.	0,021	0,302
+ 8 cm PF (freno vapore integrato)	8 cm	12 cm tot.	0,019	0,214
Limite DM Requisiti Minimi – zona E (vigente)	**—**	**—**	**—**	**0,28**
Limite DM Requisiti Minimi – zona E (dal 3/6/2026)	**—**	**—**	**—**	**0,28**

Tabella 2 – Trasmittanza U in parete corrente per configurazioni selezionate. Zona climatica E (Milano). Calcolo secondo UNI EN ISO 6946.

Con spessore di 60 mm la trasmittanza U = 0,302 W/m²K risulta superiore al limite vigente di 0,28 W/m²K. Con spessore di 80 mm si raggiunge U = 0,214 W/m²K, al di sotto di entrambi i limiti normativi e in linea con i requisiti nZEB. In particolare il limite di 0,28 W/m²K, comprensivo dei ponti termici, nel caso di isolamento da interno viene traguardato anche considerando un incremento del 30% per i ponti termici residui, arrivando al valore di 0,278 W/m²K. Anche considerando un contributo peggiorativo dei ponti termici del 40% (risolti come sopra indicato), il valore in parete corrente di 0,214 W/m²K salirebbe a 0,299 W/m²K, ben al di sotto di quanto previsto dal DM Requisiti Minimi.

Anche le verifiche di rischio formazione muffe e condense superficiali sono superate rispetto alle ipotesi di spessori e materiali adottate. Verifiche effettuate con il software PAN:

	Tipo	Descrizione	Trasmittanza stazionaria U [W/m²K]	Trasmittanza periodica Yie [W/m²K]	Rischio muffa superficiale	Rischio condensa interstiziale
1	Parete interna	Muro Verso amb riscal	1,831	0,090	✓	✓
2	Parete interna	Muro Verso scala	1,831	0,090	✓	○
3	Parete interna	Muro Verso scala alumen 4 cm	0,408	0,008	✓	○
4	Parete esterna	Muro Verso esterno	2,192	0,090	✗	✓
5	Parete esterna	Muro Verso esterno alumens 6cm	0,302	0,005	✓	✓
6	Parete esterna	Muro Verso esterno alumens 6cm+ 2 aereogel	0,219	0,004	✓	✓
7	Parete esterna	Muro Verso esterno alumens 8cm	0,214	0,004	✓	✓
8	Parete esterna	Muro Verso esterno vitrum 8cm	0,214	0,004	✓	😐

Verifica del rischio di formazione di muffa superficiale e condensa superficiale con pannello in resina fenolica a spessore di 8 cm, applicazione da interno.

	Rischio formazione muffa	Rischio condensa superficiale
Mese critico	Gennaio	Gennaio
Fattore di temperatura	0,678	0,464
Resistenza minima accettabile [m²K/W]	0,776	0,467
Verifica limite	✓	✓
Resistenza termica dell'elemento [m²K/W]	4,667	

Verifica condensa interstiziale – grafico Glaser. Pannello fenolica 8 cm con freno vapore integrato, applicazione da interno.

5.2 Confronto APE ante e post operam

Il confronto tra le APE prodotte nelle diverse configurazioni — ante operam, post operam con caldaia centralizzata, con caldaia autonoma a condensazione e con PDC — è riepilogato nella Tabella 3. I dati sono espressi in kWh/m² anno, indice $EP_{gl,nren}$.

Indicatore	Ante operam centralizzato	Post operam centralizzato	Post operam caldaia aut. condensazione	Post operam con PDC
EP H,nren	122,64	15,41	31,10	15,23
EP C,nren	—	16,13	15,79	14,90
EP V (ventilazione)	—	13,32	—	—
EP gl,nren totale	**122,64**	**44,86**	**46,89**	**30,13**
Classe energetica	**F**	**C**	**A1**	**A2**

Tabella 3 – Confronto indicatori APE nelle diverse configurazioni. Software Leto 6.0.21 distribuito da ANIT.

I dati mostrano una riduzione dell'indice EP_H — la componente direttamente connessa all'involucro — di oltre l'80% tra lo stato non isolato e lo stato post-operam, in accordo con quanto riportato in letteratura per ristrutturazioni profonde di questo livello: circa il 50% attribuibile all'isolamento delle pareti/soffitto/pavimento e circa il 25% alla sostituzione degli infissi, con guadagno addizionale derivante dall'impianto radiante a bassa temperatura.

6 Implicazioni per la transizione elettrica

Uno degli obiettivi espliciti dell'intervento era rendere l'appartamento compatibile con una futura transizione elettrica senza utilizzo del gas, senza richiedere adeguamenti strutturali dell'impianto elettrico. Il calcolo ante operam aveva già evidenziato l'incompatibilità della configurazione originaria: una PDC avrebbe richiesto circa 11 kW termici e quasi 4 kW elettrici, con necessità di allaccio trifase.

Post intervento il quadro è radicalmente diverso. L'adozione del riscaldamento radiante a bassa temperatura (mandata a 35°C) consente alla PDC di operare con un COP significativamente più elevato rispetto ai termosifoni ad alta temperatura. Applicando la stessa relazione di dimensionamento all'$EP_{H,nd}$ post-operam e con COP = 4,5 (regime a bassa temperatura), la potenza elettrica richiesta scende a circa 0,42 kW — un ordine di grandezza nettamente inferiore alla situazione di partenza.

Scenario	$EP_{H,nd}$ (kWh/m²anno)	Potenza termica PDC (kW)	Potenza elettrica (kW)
Ante operam (non isolato)	82,61	10,2	3,39
Post operam (isolato – riscaldamento a pavimento)	15,26	1,9	0,42
Riduzione	**–81,5%**	**–81,4%**	**–87,6%**

Tabella 4 – Dimensionamento PDC ante e post operam. Milano: Tvol = 20°C, Tmin = –5°C, GG = 2.500, hfunz = 10 h/gg.

Si tratta di un fabbisogno teorico calcolato, che non trova ancora corrispondenza nelle taglie minime di PDC disponibili sul mercato (generalmente ≥ 3 kW termici), ma che dimostra la compatibilità del carico elettrico con l'allaccio monofase esistente: una volta scelto l'impianto in base alle offerte di mercato, il sovradimensionamento rispetto al fabbisogno sarà comunque contenuto, e la gestione del carico elettrico rimarrà compatibile con le dotazioni impiantistiche tipiche di questi appartamenti.

Lo stesso ragionamento si applica al raffrescamento estivo: un involucro con trasmittanze nZEB riduce significativamente i carichi termici estivi, rendendo sufficiente un sistema di climatizzazione di piccola taglia — nell'ordine di 1 kW o meno — contro i 3–4 kW tipicamente dimensionati per appartamenti non isolati di analoga superficie.

7 Valutazioni economiche

7.1 Risparmio energetico e analisi dei costi

L'APE post-operam evidenzia una riduzione del consumo di gas stimato da 1.738 m³/anno (stato non isolato) a 670 m³/anno, con un risparmio annuo di circa 1.068 m³. Al costo attuale del gas (circa 1,40 €/m³ comprensivo di oneri di rete e imposte) il risparmio sulla componente di riscaldamento è stimabile in circa 1.500 €/anno. Disponendo di un misuratore di portata sulla valvola a tre vie per la contabilizzazione individuale dei consumi, il contributo energetico condominiale addebitato all'appartamento potrebbe scendere a soli 950 €/stagione invernale.

Nell'ipotesi di distacco dall'impianto centralizzato, con installazione di una caldaia autonoma a condensazione, i costi per il solo intervento sull'involucro e sugli impianti principali sono stimabili come segue (prezzi di mercato rilevati da preventivi reali 2024–2025 e da listini di riferimento — Prezzario regionale Lombardia):

- Isolamento pareti senza finitura — 180 €/m² × 116 m² (superficie disperdente): circa 20.000 €
- 8 finestre a triplo vetro a taglio termico (U = 1,2 W/m²K): circa 27.500 €
- Caldaia a condensazione da 24 kW: circa 4.000 €
- Lavori di idraulica e connessioni: circa 3.000 €

Il costo complessivo stimato è di circa 54.500 euro. I lavori indicati riguardano una ristrutturazione profonda di primo livello con elevato efficientamento energetico. Assumendo il bonus efficientamento al 50% applicabile nel 2025, si avrebbe un rientro fiscale in 10 anni di 27.250 euro; sommato al risparmio energetico di circa 15.000 euro nell'arco decennale, si raggiunge un rientro complessivo pari a circa il 78% dell'investimento in 10 anni. Quanto esposto è da considerare conservativo nell'ipotesi che i costi energetici tendano ad aumentare nell'intervallo temporale considerato.

7.2 Valore immobiliare della superficie preservata

La scelta di un isolante con λ_D = 0,019 W/mK ha permesso di raggiungere U = 0,214 W/m²K con 80 mm di spessore. La scelta del ridotto spessore ha comportato un risparmio di spazio di circa 2,6 m² di superficie calpestabile preservata. A valori di mercato dell'immobile superiori a 6.000 €/m², si tratta di un valore preservato nell'ordine di 15.000–20.000 euro — voce non convenzionale nell'analisi del ritorno economico di un intervento di efficientamento, ma pienamente quantificabile e rilevante per il proprietario.

Le primarie società immobiliari italiane attribuiscono un aumento di valore di un immobile in alta classe energetica, rispetto alla stessa tipologia non isolata in classe F o G, almeno del 25%, che per immobili di alto pregio costituisce un ulteriore vantaggio economico per il proprietario.

Pur concentrata principalmente sulla parte economica, l'analisi non può prescindere dalle migliori condizioni di vivibilità dell'ambiente: correttamente riscaldato, ventilato e raffrescato in condizioni omogenee, con temperatura di parete che non risente delle variazioni esterne e che armonizza l'irraggiamento corporeo degli occupanti.

8 Conclusioni

Il caso analizzato dimostra che la ristrutturazione energetica profonda di un edificio storico urbano — con vincolo assoluto all'intervento dall'esterno — è tecnicamente realizzabile con livelli di prestazione nZEB, a condizione di adottare un approccio progettuale rigoroso e materiali isolanti con prestazioni fisiche adeguate al contesto.

I risultati ottenuti evidenziano tre ordini di conclusioni:

Sul piano energetico. La riduzione dell'$EP_{H,nd}$ di oltre l'80% — da 82,6 a 15,3 kWh/m²anno — conferma che la ristrutturazione profonda dell'involucro, anche se eseguita interamente dall'interno, produce effetti comparabili a quanto riportato in letteratura per interventi dall'esterno di pari entità. Il passaggio dalla classe F alla classe A1 (con caldaia a condensazione autonoma) o A2 (con PDC) dimostra la scalabilità dei risultati al variare della scelta impiantistica.

Sul piano impiantistico. L'efficientamento dell'involucro non è un fine in sé, ma la condizione necessaria per rendere percorribile la transizione elettrica con impianti di piccola taglia. Il dimensionamento della PDC post-operam — circa 0,42 kW elettrici teorici — è compatibile con l'allaccio monofase esistente, rendendo il passaggio ai sistemi a pompa di calore non più una questione infrastrutturale ma esclusivamente una scelta economica e temporale.

Sul piano della selezione dei materiali. Nell'isolamento dall'interno, la conducibilità termica non è solo un parametro di prestazione energetica: è una variabile con impatto diretto sulla superficie abitabile preservata e, in un mercato immobiliare come quello milanese, sul valore economico dell'intervento. Il processo di selezione descritto — fondato su criteri tecnici verificabili (diagnosi energetica, scelta dell'isolamento con l'obiettivo della decarbonizzazione dell'involucro, adeguamento della impiantistica) e non su valutazioni qualitative — rappresenta un modello replicabile per il progettista che opera in contesti analoghi.

Il caso milanese descritto in questo articolo costituisce un riferimento concreto per la progettazione di interventi di efficientamento dall'interno su edifici storici urbani, una casistica destinata ad ampliarsi con l'avanzare delle scadenze EPBD IV e il progressivo inasprimento dei requisiti minimi di prestazione energetica. L'aver portato l'APE attuale verso le massime classi permetterà di mantenere una classe elevata con l'entrata in vigore, prossimamente, dell'APE europea armonizzata prevista nella EPBD IV. In questa nuova classificazione gli involucri nZEB saranno in classe B, ed aver portato un edificio storico di quasi 100 anni a un tale livello è senza ombra di dubbio un risultato rilevante.