



**Università
di Genova**

Scuola Politecnica

Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea Magistrale in Architettura

**Riqualficazione energetica degli edifici scolastici:
il caso studio del Plesso Stella San Giovanni**

RELATORE:

Chiar.mo Prof. Ing. Stefano Bergero

CORRELATORI:

Ing. Daniele Costanzo

Arch. Carlotta Barabino

CANDIDATA:

Silvia Canepa

**Anno accademico 2024-2025
Sessione di Laurea 19 Marzo 2026**



**Università
di Genova**

Scuola Politecnica

Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea Magistrale in Architettura

**Riqualificazione energetica degli edifici scolastici:
il caso studio del Plesso Stella San Giovanni**

RELATORE:

Chiar.mo Prof. Ing. Stefano Bergero

CORRELATORI:

Ing. Daniele Costanzo

Arch. Carlotta Barabino

CANDIDATA:

Silvia Canepa

**Anno accademico 2024-2025
Sessione di Laurea 19 Marzo 2026**

Sommario

1. INTRODUZIONE	1
2. L'IMPATTO DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA	4
2.1 <i>Analisi del contesto</i>	4
2.2 <i>Il settore scolastico</i>	8
3. INQUADRAMENTO NORMATIVO SULL'EFFICIENZA ENERGETICA DEL SETTORE EDILIZIO	11
3.1 <i>Normativa Europea</i>	11
3.2 <i>Normativa Italiana</i>	19
4. ASPETTI APPLICATIVI DELLA NORMATIVA ENERGETICA NEL SETTORE EDILIZIO	25
4.1 <i>Metodologie di calcolo: le norme tecniche di riferimento per la stima delle prestazioni energetiche degli edifici</i>	25
4.2 <i>Diagnosi Energetica</i>	27
4.3 <i>Requisiti minimi per il calcolo della prestazione energetica degli edifici</i>	30
4.3.1 <i>Modifiche previste nel 2025 con il D.M. 28/10/25</i>	40
4.4 <i>Certificazione energetica: l'attestato di prestazione energetica</i>	42
4.4.1 <i>Modifiche previste secondo EPBD IV "Case Green"</i>	46
5. EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI	49
5.1 <i>Il patrimonio edilizio scolastico come ambito prioritario di intervento</i>	49
5.1.1 <i>Caratteristiche energetiche ricorrenti degli edifici scolastici esistenti</i>	50
5.1.2 <i>Diagnosi e definizione delle strategie</i>	51
5.2 <i>Interventi di efficientamento sull'involucro edilizio</i>	52
5.2.1 <i>Isolamento termico delle strutture opache verticali</i>	53
5.2.2 <i>Isolamento termico delle strutture opache orizzontali</i>	55
5.2.3 <i>Riqualificazione delle chiusure trasparenti e interventi di schermatura solare</i>	61

5.3	<i>Interventi di efficientamento sugli impianti tecnologici</i>	65
	5.3.1 <i>Riqualificazione degli impianti termici</i>	66
	5.3.2 <i>Sistemi per la gestione integrata delle funzioni tecnologiche dell'edificio (BEMS)</i>	69
	5.3.3 <i>Installazione di infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici</i>	70
	5.3.4 <i>Impianto di ventilazione meccanica controllata</i>	70
	5.3.5 <i>Efficientamento degli impianti di illuminazione</i>	71
5.4	<i>Integrazione delle fonti energetiche rinnovabili</i>	72
	5.4.1 <i>Impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica</i>	72
	5.4.2 <i>Impianti solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria</i>	73
	5.4.3 <i>Pompe di calore e utilizzo di energia rinnovabile ambientale</i>	73
5.5	<i>Finanziamenti nazionali e fondi europei</i>	74
	5.5.1 <i>Conto Termico</i>	75
6.	CASO STUDIO: PLESSO SCOLASTICO FRAZIONE STELLA SAN GIOVANNI	76
	6.1 <i>Software Namirial Termo 6.5</i>	76
	6.2 <i>Inquadramento dell'immobile</i>	78
	6.3 <i>Stato di fatto</i>	89
	6.3.1 <i>Dati generali</i>	89
	6.3.2 <i>Strutture</i>	92
	6.3.3 <i>Impianti</i>	123
	6.3.4 <i>Zone termiche</i>	130
	6.4 <i>Valutazione dello stato di fatto ed elaborazione dei dati raccolti</i>	140
	6.4.1 <i>Risultati</i>	140
	6.4.2 <i>Attestato di prestazione energetica</i>	142

7. CASO STUDIO: SCENARI DI INTERVENTO MIGLIORATIVI	143
7.1 <i>Interventi sull'involucro</i>	145
7.1.1 <i>Interventi sulle strutture opache verticali</i>	146
7.1.2 <i>Interventi sulle strutture opache orizzontali</i>	155
7.1.3 <i>Interventi sui serramenti</i>	164
7.1.4 <i>Interventi sui ponti termici</i>	170
7.1.5 <i>Valutazione dei risultati intermedi "Scenario 1"</i>	179
7.2 <i>Interventi sugli impianti</i>	184
7.2.1 <i>Impianto di ventilazione meccanica</i>	184
7.2.2 <i>Valutazione dei risultati intermedi "Scenario 2"</i>	195
7.2.3 <i>Impianto di illuminazione</i>	199
7.2.4 <i>Valutazione dei risultati intermedi "Scenario 3"</i>	212
7.2.5 <i>Fonti rinnovabili</i>	216
7.2.6 <i>Valutazione dei risultati "Scenario 4"</i>	221
7.3 <i>Analisi economica</i>	228
7.3.1 <i>Valutazione del periodo di ritorno dell'investimento</i>	230
7.3.2 <i>Accesso agli incentivi</i>	232
8. CONCLUSIONI	239
APPENDICE	242
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	280
RINGRAZIAMENTI	284

1. Introduzione

La transizione energetica rappresenta oggi una delle sfide più rilevanti per il settore edilizio, soprattutto alla luce degli obiettivi di decarbonizzazione fissati a livello europeo. In questo contesto, la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente assume un ruolo strategico, in quanto consente di ridurre i consumi, l'impatto ambientale del settore e i costi di gestione degli edifici.

In territorio nazionale questa esigenza appare particolarmente evidente se si considerano la dimensione e le caratteristiche del patrimonio edilizio esistente: secondo il Rapporto Annuale sulla Certificazione Energetica degli Edifici 2024 di ENEA, il parco immobiliare comprende circa 3,5 miliardi di m² destinati all'uso residenziale, 528 milioni di m² relativi al settore terziario privato e circa 267 milioni di m² di edifici del settore pubblico. Una quota significativa degli edifici, tuttavia, presenta prestazioni energetiche ancora insufficienti: le analisi basate sui dati del portale SIAPE evidenziano infatti che circa il 70% degli edifici privati e il 60% degli edifici pubblici o ad uso pubblico rientrano nelle classi meno efficienti E, F e G.

Alla luce di questi dati, la riqualificazione degli edifici esistenti rappresenta uno degli ambiti prioritari delle politiche energetiche, come evidenziato dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), che fissa tra gli obiettivi l'incremento del tasso di riqualificazione del patrimonio pubblico. In particolare, è previsto un obiettivo di riqualificazione pari al 3% annuo della superficie degli edifici pubblici nel periodo 2025-2030, un valore significativamente superiore rispetto al tasso registrato negli anni precedenti, che nel 2022 si attestava intorno allo 0,7%.

Il quadro normativo europeo si è ulteriormente rafforzato con l'aggiornamento della Direttiva sulle prestazioni energetiche degli edifici (EPBD), recentemente revisionata con l'obiettivo di accelerare la trasformazione del patrimonio edilizio verso edifici a emissioni zero, prevista entro il 2050. Tra le principali novità introdotte vi è l'obbligo per gli Stati membri di predisporre nuovi piani nazionali di ristrutturazione del patrimonio edilizio entro il 2026, oltre all'introduzione di obiettivi progressivi di miglioramento delle prestazioni energetiche e di standard sempre più stringenti per le nuove costruzioni. In questo scenario, gli edifici pubblici assumono un ruolo esemplare, fungendo da modello per il processo di riqualificazione dell'intero patrimonio edilizio.

Parallelamente agli strumenti normativi, negli ultimi anni sono stati introdotti diversi meccanismi di sostegno economico finalizzati a favorire la realizzazione di interventi di efficientamento energetico. Tra questi assume particolare rilevanza il Conto Termico, recentemente aggiornato nella versione 3.0, che incentiva interventi di riqualificazione dell'involucro e degli impianti degli edifici, finalizzati all'incremento dell'efficienza energetica e alla produzione di energia termica da fonti rinnovabili. Questo tipo di incentivo è significativo per il settore pubblico e in particolare per i piccoli Comuni, spesso caratterizzati da limitate risorse economiche e capacità di investimento: sono previste, infatti, procedure relativamente semplificate per la Pubblica Amministrazione e la possibilità di coprire

una quota rilevante dei costi degli interventi. Nel dettaglio, gli interventi di isolamento delle superfici opache, sostituzione dei serramenti, installazione di schermature solari e trasformazione in edifici nZEB possono beneficiare di incentivi fino al 100% delle spese ammissibili per: edifici adibiti a uso scolastico di proprietà pubblica di ogni ordine e grado; strutture sanitarie pubbliche, comprese RSA, ospedali e altre strutture socio sanitarie; edifici di proprietà comunale situati in Comuni con popolazione inferiore ai 15.000 abitanti, indipendentemente dalla loro destinazione d'uso.

Alla luce di queste considerazioni, la presente tesi affronta il tema della riqualificazione energetica applicato a un edificio scolastico del Comune di Stella (SV), situato nell'entroterra ligure. L'obiettivo del lavoro è analizzare le prestazioni energetiche dell'edificio esistente e individuare le più efficaci strategie di intervento finalizzate al raggiungimento, o all'avvicinamento il più possibile, alla conformità ai requisiti nZEB, attraverso consumi notevolmente ridotti, una maggiore indipendenza dalla rete elettrica tradizionale tramite la produzione in loco di energia rinnovabile, un involucro caratterizzato da elevata prestazione passiva, locali interni caratterizzati da significativa qualità ambientale e gestione automatizzata dell'edificio finalizzata all'ottimizzazione di consumi e comfort.

Il lavoro è articolato in due parti principali: nella prima parte viene analizzato il quadro normativo di riferimento relativo all'efficienza energetica nel settore edilizio, con particolare attenzione agli sviluppi più recenti e agli aspetti applicativi delle normative vigenti, quali i requisiti minimi prestazionali richiesti agli edifici e le modalità di valutazione delle prestazioni energetiche.

La seconda parte della tesi è dedicata all'analisi del caso studio: attraverso la modellazione energetica dell'edificio, realizzata mediante il software Namirial Termo 6.5, sono state determinate le prestazioni iniziali e i fabbisogni energetici, consentendo di individuare i principali ambiti di intervento.

La fase di analisi dell'edificio ha permesso di individuare alcune criticità centrali, che costituiscono il punto di partenza per la definizione degli scenari di intervento proposti. Il primo aspetto riguarda le elevate dispersioni termiche dell'involucro edilizio, dovute in particolare alle strutture opache meno massive e alla presenza di serramenti datati e scarsamente performanti, che determinano, di conseguenza, un elevato fabbisogno energetico per il riscaldamento.

Per questo motivo, il primo scenario di intervento prevede un miglioramento delle prestazioni dell'involucro attraverso interventi passivi di isolamento e la sostituzione dei serramenti. Questo primo passaggio è fondamentale per garantire un sistema edificio-impianto realmente efficiente, in quanto intervenire sugli impianti senza una preventiva riduzione delle dispersioni dell'involucro risulterebbe poco utile dal punto di vista energetico.

Il secondo ambito di intervento riguarda la qualità ambientale interna e il comfort termigrometrico dei locali. In un edificio scolastico questi aspetti assumono particolare rilevanza, poiché le condizioni ambientali influiscono direttamente sul benessere degli studenti e sulla qualità dell'apprendimento. Viene dunque proposta l'introduzione di un sistema di ventilazione meccanica controllata: sebbene il nuovo servizio comporti

un significativo aumento dei consumi energetici, esso consente di garantire condizioni ambientali notevolmente più salubri e controllate.

Il tema del comfort interno comprende anche gli aspetti legati all'illuminazione: tale servizio dipende da apparecchi energivori e caratterizzati da flussi luminosi ridotti. Per affrontare questa criticità, il terzo scenario di intervento prevede la sostituzione dell'impianto di illuminazione esistente con apparecchi ad alta efficienza e basso consumo, al fine di migliorare i livelli di illuminamento nei locali, ridurre i consumi elettrici da rete e aumentare la percentuale di energia rinnovabile sul totale.

Infine, la quota rinnovabile viene ulteriormente incrementata: nonostante l'esistenza di impianti alimentati da fonti rinnovabili, la produzione risulta attualmente limitata in confronto al potenziale, a causa della vetustà delle installazioni. Per questo motivo, viene proposto un ulteriore intervento volto a ottimizzare ulteriormente l'equilibrio tra consumi da rete e generazione da fonti rinnovabili, attraverso la sostituzione e l'ampliamento dell'impianto fotovoltaico e l'estensione del sistema solare termico esistenti.

Attraverso l'analisi del caso studio e la definizione degli scenari di intervento, la tesi intende quindi evidenziare come un approccio integrato alla riqualificazione energetica, basato sulla combinazione di interventi sull'involucro edilizio, sugli impianti e sull'utilizzo delle fonti rinnovabili, rappresenti una strategia efficace per allinearsi agli odierni obiettivi di decarbonizzazione.

L'efficienza dell'involucro rappresenta il presupposto indispensabile per garantire l'efficacia degli interventi sugli impianti, mentre l'integrazione di sistemi di ventilazione meccanica, il contenimento dei fabbisogni di energia elettrica dalla rete e il potenziamento delle fonti rinnovabili completano la strategia di miglioramento delle prestazioni energetiche e dell'impatto ambientale. In questo modo, il caso studio diventa un esempio concreto di efficace applicazione delle normative vigenti e mostra come strumenti quali gli incentivi nazionali possano tradursi in interventi effettivi, anche nei contesti dei piccoli comuni.

2. L'impatto della riqualificazione energetica

2.1 Analisi del contesto

Il “riscaldamento globale” è il fenomeno di aumento della temperatura media dell’atmosfera terrestre e degli oceani nel corso del tempo, principalmente a causa dell’accumulo di gas serra (Greenhouse Gases o GHG) di origine antropica. La concentrazione di gas climalteranti in atmosfera in progressivo aumento mostra effetti sempre più evidenti sugli ecosistemi naturali, sulla sicurezza energetica e sulla qualità della vita delle popolazioni. La comunità scientifica concorda nell’attribuire la causa principale di tali fenomeni alle attività umane, con particolare riferimento alla produzione e al consumo di energia da carburanti fossili.

I gas serra intrappolano parte dell’energia solare riflessa dalla superficie terrestre, aumentando il cosiddetto “effetto serra naturale”. Tuttavia, l’intensificazione di questo effetto a causa delle attività umane, prime fra tutte la combustione di fonti energetiche fossili quali carbone, petrolio e gas naturale, ha determinato un anomalo incremento della concentrazione di tali gas nell’atmosfera, con effetti significativi sul clima globale.

Questo aumento ha effetti ormai misurabili e ampiamente documentati dalla comunità scientifica: secondo l’Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), la temperatura media globale nel periodo 2011–2020 è risultata superiore di circa 1,1 °C rispetto ai livelli preindustriali (1850-1900), con evidenze consolidate da un’intensificazione degli eventi climatici estremi, dallo scioglimento dei ghiacciai e delle calotte polari, dall’innalzamento medio del livello del mare e da significative alterazioni dei sistemi naturali ed ecosistemi a scala globale.

I principali gas serra responsabili di tali fenomeni sono:

- Anidride carbonica (CO₂), responsabile della maggior parte dell’effetto serra associato alle attività umane e caratterizzata da una lunga permanenza atmosferica;
- Metano (CH₄), che trattiene il calore in quantità maggiore rispetto alla CO₂ ma ha permanenza atmosferica più breve;
- Protossido di azoto (N₂O), presente in quantità meno abbondante degli altri inquinanti, ma caratterizzato da un potenziale di riscaldamento per molecola molto elevato.

Negli ultimi decenni, le concentrazioni atmosferiche di questi gas hanno raggiunto livelli preoccupanti: secondo il report della World Meteorological Organization nel 2024 la CO₂ ha superato 423 ppm (parti per milione), circa il 152% in più rispetto ai livelli preindustriali e con incrementi annuali notevoli. Allo stesso tempo, anche le concentrazioni di CH₄ e N₂O crescono rapidamente, rispettivamente oltre il 166% e il 25% rispetto ai livelli preindustriali.

In questo contesto di emergenza climatica, il settore edilizio assume un ruolo globale di primaria importanza per il suo contributo ai consumi energetici e alle emissioni di gas serra.

Il rapporto “Global Status Report for Buildings and Construction” (2024-2025) pubblicato dall’UN Environment Programme (UNEP) indica che gli edifici e le attività di costruzione rappresentano circa il 32% della domanda finale di energia globale e circa il 34% delle emissioni di CO₂ correlate all’energia.

A scala europea, il peso del settore edilizio risulta ancora più rilevante:

- Gli edifici consumano circa il 40% dell’energia totale dell’UE;
- Il settore edilizio contribuisce in modo diretto e indiretto a ingenti quote delle emissioni di gas serra correlate alla produzione di energia (circa 36% delle emissioni totali nel 2023), alla luce dei dati dell’Agenzia Europea dell’Ambiente (EEA). Queste emissioni derivano non solo dalla combustione di combustibili fossili per il riscaldamento e gli usi termici, ma anche dall’elettricità consumata per illuminazione, apparecchiature, raffrescamento e ulteriori servizi, parte della quale è ancora prodotta da centrali a combustibili fossili.

Un aspetto particolarmente critico si può individuare nell’età media degli edifici: circa il 75% del parco edilizio europeo è stato costruito prima dell’introduzione di normative energetiche avanzate e presenta prestazioni nettamente inferiori agli standard attuali. In molti casi, questi edifici sono caratterizzati da involucri sprovvisti di isolamento o coibentati in maniera insufficiente, serramenti obsoleti e impianti termici poco performanti, con conseguenti elevati consumi di energia primaria e significative dispersioni.

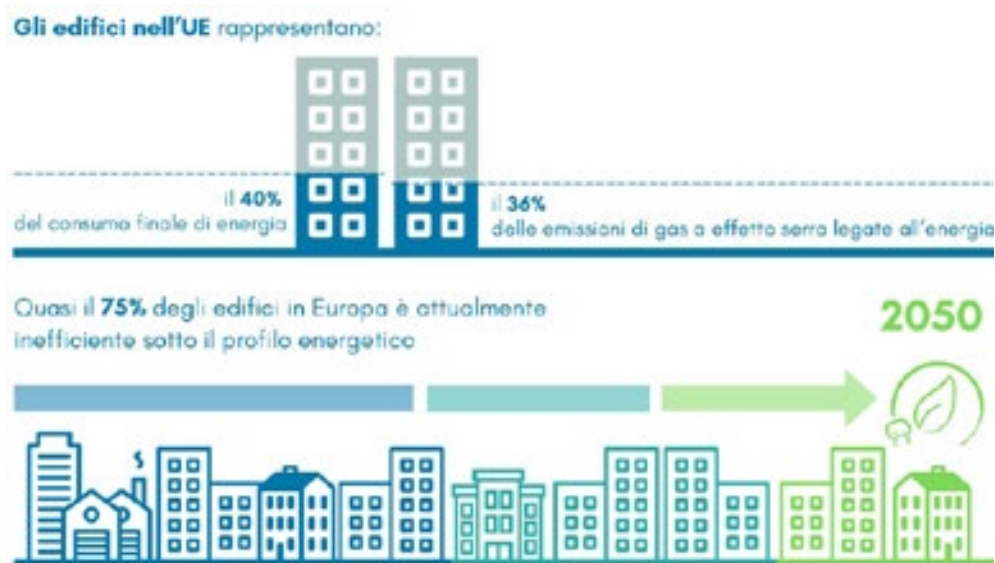


Fig. 2.1 Consumi ed emissioni degli edifici nell’Unione Europea. [Fonte: Elaborazione ENEA su dati del Consiglio europeo: “Pronti per il 55%: per edifici più verdi nell’UE - Consilium”].

La situazione italiana riflette in larga misura questo quadro generale: il patrimonio edilizio nazionale è estremamente eterogeneo e in gran parte datato, con una quota significativa di edifici realizzati nel secondo dopoguerra e prima della legge 373/76, durante un periodo storico in cui l’attenzione all’efficienza energetica era marginale rispetto alle esigenze di rapidità costruttiva e contenimento dei costi. Secondo i dati del Censimento Istat del 2021,

In Italia esistono più di 13 milioni di edifici, di cui circa l'89% è ad uso residenziale, per un totale di circa 35 milioni di singole abitazioni.



Fig. 2.2 La consistenza del parco immobiliare nazionale. [Fonte: ENEA].

I dati elaborati da ENEA, basati sul Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica (SIAPE), hanno evidenziato come una larga parte degli edifici, sia residenziali sia del settore terziario, ricada nelle classi energetiche medio-basse, con indici di prestazione energetica non rinnovabile elevati, ma ampi margini di miglioramento. Nel complesso in ambito nazionale gli edifici sono il settore più energivoro in assoluto, in quanto rappresentano circa il 41% dei consumi energetici italiani complessivi e contribuiscono per circa 26% alle emissioni totali di gas serra. Il riscaldamento domestico e il consumo di gas naturale hanno un ruolo particolarmente rilevante, con circa il 45% delle emissioni settoriali imputabili all'uso di gas naturale negli edifici.

Tra il 1990 e il 2024 il settore ha conseguito una riduzione delle emissioni di gas serra del 22%, facendo dell'edilizia il terzo settore per emissioni, dopo industria e trasporti; tuttavia, per rispettare gli impegni climatici, al 2030 le emissioni degli edifici dovranno essere più che dimezzate rispetto al 1990, per arrivare ad azzerarsi nel 2050.

Sulla base del Rapporto annuale di ENEA sull'efficienza energetica aggiornato al 2023, gli immobili certificati sul SIAPE mostrano un discreto miglioramento delle prestazioni energetiche tra il 2021 e il 2022, grazie soprattutto all'introduzione di bonus edilizi come l'Ecobonus e soprattutto l'ormai concluso Superbonus, che hanno sollecitato molti interventi di efficientamento energetico: si è verificato l'incremento del circa 4,5% dei casi ricadenti nelle classi energetiche comprese tra A4 e B, raggiungendo il 15,4% degli edifici complessivi, mentre le classi peggiori, F e G, sono scese al 51,3% (-6,2% rispetto al 2022); le classi intermedie, da C a E, hanno mantenuto invece livelli stabili. È tuttavia chiaro che, sebbene i miglioramenti siano quantificabili concretamente, l'attuale ritmo di avanzamento non potrà permettere di raggiungere gli obiettivi di medio e lungo periodo prefissati a livello europeo.

Questo scenario rende dunque evidente come qualunque strategia di mitigazione del cambiamento climatico non possa avere successo qualora non si provveda alla costituzione di strategie a lungo termine per la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente e a un profondo ripensamento delle modalità di progettazione e gestione degli edifici.

La crescente consapevolezza degli effetti del cambiamento climatico, a partire dagli ultimi decenni del Novecento, ha avviato la nascita di un quadro normativo e politico comune a livello internazionale, finalizzato alla riduzione delle emissioni di gas serra e alla promozione di un uso più efficiente delle risorse energetiche.

Il primo passo significativo in questa direzione è stato rappresentato dalla Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), adottata nel 1992 durante la Conferenza di Rio de Janeiro. Questo accordo internazionale ha posto le basi per un'azione coordinata tra gli Stati, prendendo atto ufficialmente dell'esistenza del cambiamento climatico e della necessità di stabilizzare le concentrazioni di gas serra in atmosfera a un livello tale da prevenire peggioramenti pericolosi della situazione globale.

Questo accordo ha gettato le basi per la sottoscrizione, nel 1997, del Protocollo di Kyoto, entrato in vigore nel 2005, che ha costituito il primo strumento giuridicamente vincolante riguardo la riduzione delle emissioni di gas serra. Il protocollo ha imposto obiettivi quantitativi di riduzione ai Paesi industrializzati e, sebbene i risultati siano stati eterogenei e limitati nel tempo, Kyoto ha segnato un passaggio fondamentale nella definizione di politiche strutturate a livello internazionale.

Allo stesso tempo, l'Unione Europea ha iniziato a sviluppare una propria strategia autonoma in materia di energia e clima: nei primi anni 2000 è stato introdotto il Sistema Europeo di Scambio delle Quote di Emissione (EU ETS), uno dei primi esempi di mercato del carbonio su larga scala, finalizzato alla riduzione delle emissioni nei settori energivori e industriali sotto il profilo dei costi. Contestualmente, l'UE ha avviato l'adozione di direttive mirate all'efficienza energetica, alla promozione delle fonti rinnovabili e alla riduzione dei consumi, ponendo progressivamente maggiore attenzione anche al settore edilizio. Per incentivare la riduzione delle emissioni nei settori dei trasporti stradali e degli edifici, che non erano coperti dalla precedente ETS, i legislatori hanno convenuto di istituire, a partire dal 2027, un sistema separato ma parallelo, denominato ETS2, per le emissioni prodotte dai combustibili utilizzati nei settori in questione.

Un punto di svolta decisivo è stato raggiunto nel 2015 con la firma dell'Accordo di Parigi con l'adesione della quasi totalità dei Paesi del mondo. L'accordo ha fissato l'obiettivo di contenere l'aumento della temperatura media globale "ben al di sotto" dei 2 °C rispetto ai livelli preindustriali, perseguendo sforzi per limitarlo a 1,5 °C. Una differenza sostanziale rispetto al Protocollo di Kyoto è che l'Accordo di Parigi ha coinvolto attivamente sia Paesi sviluppati sia in via di sviluppo, introducendo un sistema di impegni nazionali progressivi ("Nationally Determined Contributions").

A livello europeo, questi obiettivi sono stati ulteriormente rafforzati con il lancio dell'"European Green Deal" nel 2019, che ha definito una strategia complessiva per trasformare l'UE in un'economia climaticamente neutra entro il 2050. Il Green Deal ha posto l'energia, l'edilizia e l'efficienza delle risorse al centro delle politiche comunitarie, riconoscendo il settore edilizio come uno degli ambiti prioritari di intervento.

Nel 2021, il quadro normativo è stato ulteriormente consolidato con il pacchetto legislativo "Fit for 55", che ha fissato l'obiettivo vincolante di ridurre le emissioni nette di gas serra di

almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990. Questo pacchetto ha comportato la revisione delle principali direttive energetiche europee, tra cui la Direttiva sulla Prestazione Energetica nell'Edilizia (EPBD), introducendo requisiti più stringenti per le nuove costruzioni e, soprattutto, per la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente. Infatti, il 28 maggio 2024 è entrata in vigore la nuova EPBD 4 "Direttiva Case Green", che presenta il quadro della situazione nell'UE confermando che tre quarti del patrimonio edilizio esistente sono energeticamente inefficienti.

L'evoluzione normativa, che verrà approfondita nel dettaglio nel capitolo successivo, sta sviluppando un approccio sempre più indirizzato alla decarbonizzazione degli edifici, alla riduzione dei consumi energetici e alla promozione di interventi di ristrutturazione profonda, con particolare attenzione agli edifici del settore pubblico. Questi ultimi sono infatti chiamati a svolgere un ruolo esemplare nella transizione energetica, anticipando gli obiettivi comuni e fungendo da modello per il resto del patrimonio edilizio.

2.2 Il settore scolastico

Alla luce del contesto presentato, la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente spicca come uno degli strumenti principali per il raggiungimento degli obiettivi climatici ed energetici a livello europeo e nazionale. A differenza delle nuove costruzioni, che rappresentano una quota limitata del parco edilizio complessivo, gli interventi sugli edifici esistenti permettono di ottenere benefici immediati e su ampia scala, incidendo direttamente sulle principali fonti di consumo energetico.

Secondo il focus "Efficienza energetica nell'edilizia" del 2020 della Commissione Europea, un programma strutturato a lungo termine di riqualificazione degli edifici potrebbe determinare una riduzione del consumo energetico totale dell'Unione Europea compresa tra il 5 e il 6%, con una conseguente diminuzione delle emissioni di CO₂ pari a circa il 5%. Tuttavia, in media, meno dell'1% del parco immobiliare nazionale viene ristrutturato ogni anno, con le percentuali degli altri Stati membri che oscillano fra lo 0,4% e l'1,2%. Dunque, per rendere questi risultati concreti, è fondamentale aumentare i tassi di ristrutturazione e superare l'attuale approccio frammentato, favorendo interventi profondi e integrati che coinvolgano sia l'involucro edilizio sia i sistemi impiantistici.

Nel caso degli edifici scolastici, la riqualificazione energetica assume una valenza strategica ancora maggiore. Il settore scolastico è caratterizzato da un'alta intensità d'uso, occupazione quotidiana da parte di un numero elevato di utenti e orari di funzionamento prolungati: interventi mirati di efficientamento possono portare a riduzioni dei consumi energetici anche del 40-60% rispetto alla situazione attuale, con effetti significativi sulla spesa degli enti pubblici e sulla riduzione delle emissioni climalteranti.

All'interno del patrimonio edilizio pubblico, gli edifici scolastici costituiscono una quota rilevante sia in termini numerici sia in termini di superficie complessiva. Secondo le stime di ENEA, la superficie netta riscaldata delle scuole pubbliche italiane supera i 63 milioni di metri quadrati, rendendo il comparto scolastico uno dei principali ambiti di intervento potenziale per le politiche pubbliche di efficientamento energetico.

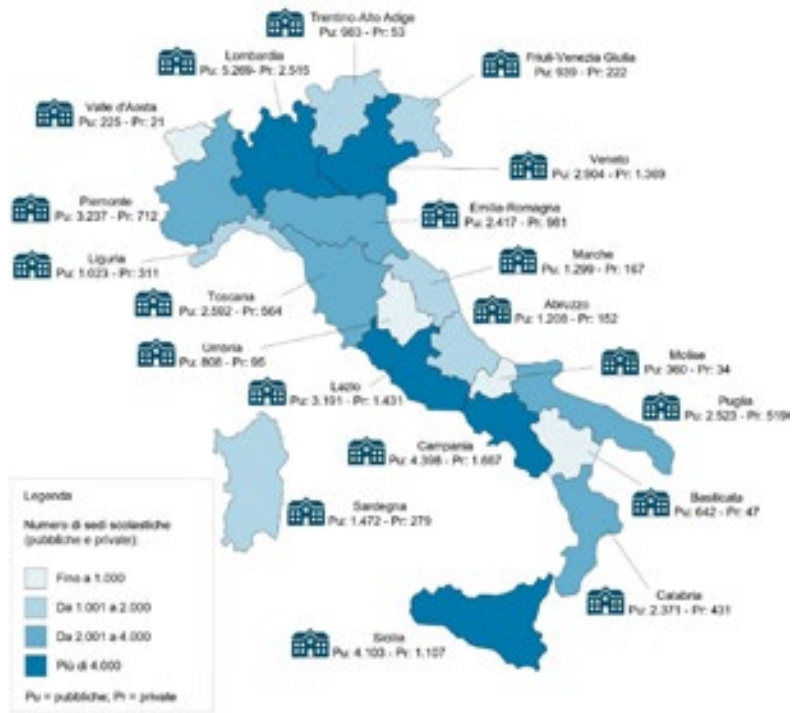


Fig. 2.3 Mappa scuole italiane. [Fonte: Elaborazione ENEA su dati Ministero dell’Istruzione e del Merito].

Zona Climatica	n. APE 31/12/2019	Distribuzione %	EP _{g,non} medio (kWh/m ² anno)	n. APE 31/12/2023	Distribuzione %	EP _{g,non} medio (kWh/m ² anno)
A	0	0,0%	-	1*	0,0%	342,5*
B	0	0,0%	-	144	1,1%	159,0
C	76	1,6%	137,4	727	5,6%	157,3
D	563	11,2%	227,2	2.006	15,4%	215,1
E	4.165	82,8%	312,6	9.555	73,4%	301,6
F	229	4,5%	334,1	590	4,5%	320,8
Totale	5.032	100,0%	301,3	13.013	100,0%	279,5

*Campioni non rappresentativo

Fig. 2.4 Numero degli APE di immobili scolastici presenti sul SIAPE al 31 dicembre 2019 e al 31 dicembre 2023 distinti per zona climatica e variazione dell’indice di prestazione energetica globale non rinnovabile medio

[Fonte: Elaborazione ENEA].

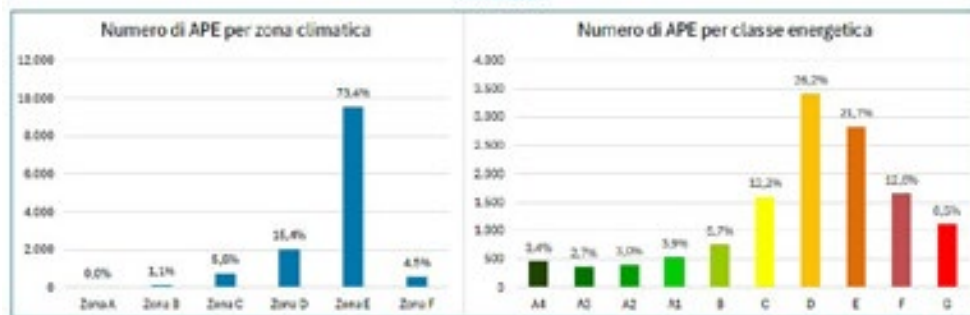


Fig. 2.5 Ripartizione per zona climatica e classe energetica degli APE di immobili a uso scolastico emessi fino al 31/12/2023. [Fonte: Elaborazione ENEA].

Molte strutture scolastiche presentano ancora oggi livelli di prestazione energetica insoddisfacenti, con valori medi dell'indice EP_{gl,nren} significativamente elevati, in particolare nelle zone climatiche più fredde.

Oltre all'impatto energetico ed economico, tali edifici mostrano spesso carenze anche sotto il profilo del comfort ambientale interno. Condizioni termo-igrometriche non uniformi, problemi di ventilazione e scarsa qualità dell'aria interna sono circostanze frequenti negli edifici scolastici non riqualificati, con potenziali effetti negativi sulla salute e sulle capacità di concentrazione e apprendimento degli utenti. La questione energetica si intreccia quindi con tematiche più ampie, legate alla qualità degli spazi educativi e al benessere psicofisico degli studenti e del personale scolastico.

Dal punto di vista ambientale, la valorizzazione del patrimonio edilizio esistente consente inoltre di limitare il consumo di suolo e di ridurre l'impatto causato dalla produzione di nuovi materiali da costruzione, configurandosi come una strategia coerente con i principi dello sviluppo sostenibile e della tutela dell'ambiente.

Infine, le scuole riqualificate possono assumere un ruolo simbolico e educativo all'interno del tessuto urbano e sociale. In quanto edifici pubblici destinati alla formazione delle nuove generazioni, esse possono diffondere una maggiore consapevolezza sui temi della transizione ecologica e portare esempi concreti di buone pratiche energetiche e ambientali. Gli interventi possibili (l'efficientamento dell'involucro opaco e trasparente, la sostituzione di impianti con sistemi efficienti e l'integrazione di fonti rinnovabili) possono produrre benefici misurabili:

- Miglioramento del comfort e della qualità indoor: miglioramento delle condizioni termo-igrometriche interne, della ventilazione e dell'illuminazione, con comprovati effetti positivi su salute, benessere e produttività degli utenti;
- Benefici ambientali: riduzione significativa dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti, contribuendo alla transizione energetica e agli impegni climatici nazionali ed europei e al miglioramento della qualità dell'aria nelle nostre città;
- Benefici economici: riduzione dei costi di gestione per le amministrazioni pubbliche, grazie a consumi e spese operative minori. Inoltre, lo Stato italiano mette a disposizione diversi bonus fiscali, che rendono gli interventi più accessibili e convenienti, abbattendo i tempi di ritorno dell'investimento;
- Valorizzazione del patrimonio edilizio esistente: limitazione del consumo di suolo associato alle nuove costruzioni e aumento di valore sul mercato immobiliare degli edifici riqualificati, che diventano più attrattivi per affittuari o acquirenti.

In questo contesto, la riqualificazione energetica del patrimonio scolastico non rappresenta soltanto una necessità tecnica o normativa, ma una scelta strategica fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione, per il miglioramento della qualità degli spazi educativi e per la costruzione di un futuro energeticamente più sostenibile.

3. Inquadramento normativo sull'efficienza energetica del settore edilizio

3.1 Normativa europea

Negli ultimi decenni, l'Unione Europea si è impegnata notevolmente per la transizione verso un'economia più sostenibile, adottando una serie di normative atte a migliorare l'efficienza energetica in svariati settori. Le politiche europee aspirano a ridurre il consumo di energia, limitare le emissioni di biossido di carbonio e, in generale, a rendere i consumatori più consapevoli e partecipi di questa transizione.

L'efficienza energetica rappresenta ad oggi un pilastro fondamentale della politica energetica e climatica dell'Unione Europea. La costruzione del quadro normativo europeo a riguardo è il risultato di più di trent'anni di sviluppo legislativo, nato con l'attenzione iniziale al risparmio energetico con gli accordi internazionali sul clima, e sviluppatosi in un corpus legislativo coerente che coinvolge l'industria, i trasporti e il settore edilizio pubblico e privato, fino alle più recenti strategie integrate del Green Deal e del pacchetto "Fit for 55". Nell'ambito dell'edilizia le leggi europee hanno apportato un grande mutamento nella progettazione, promuovendo la riqualificazione in campo energetico del patrimonio edilizio, con l'obiettivo di ottenere un parco immobiliare decarbonizzato, in cui gli edifici sono responsabili di zero consumi e zero emissioni entro il 2050.

Direttiva SAVE (1993)

Il primo intervento normativo di una certa rilevanza in materia di efficienza energetica a livello comunitario è stato rappresentato dalla Direttiva 93/76/CEE (chiamata più comunemente Direttiva SAVE), adottata nel 1993. Tale atto aveva come obiettivo la riduzione delle emissioni di anidride carbonica mediante il miglioramento dell'efficienza energetica, promuovendo l'elaborazione e la messa in atto di programmi nazionali rivolti al risparmio energetico e introducendo appositi finanziamenti rivolti agli interventi di efficientamento.

La Direttiva SAVE ha costituito un primo tentativo di elaborare un approccio coordinato tra gli Stati membri, gettando le basi di una politica energetica comune orientata verso la sostenibilità ambientale. Le misure specifiche delle quali veniva richiesta l'adozione ricadevano nei seguenti ambiti:

- certificazione energetica degli edifici;
- contabilizzazione delle spese di climatizzazione e produzione di acqua calda sanitaria sulla base dei consumi effettivi;
- utilizzo del finanziamento tramite terzi per interventi di efficientamento nel settore pubblico;
- miglioramento dell'isolamento termico dei nuovi edifici;

- controllo periodico delle caldaie;
- diagnosi energetiche nelle imprese a elevato consumo.

In questo contesto assume particolare rilievo l'introduzione della certificazione energetica degli edifici, ovvero la descrizione dei parametri di prestazione dell'immobile, con lo scopo di fornire ai potenziali utenti un quadro informativo completo sull'efficienza energetica e sulle eventuali misure di miglioramento.

L'attenzione europea verso l'efficienza energetica in edilizia con la Direttiva SAVE del 1993 ha a un percorso in seguito consolidato, con l'adozione di successivi provvedimenti normativi a partire dal 2002, tra cui le direttive EPBD I, II, III e IV, come anche la direttiva sull'efficienza energetica (EED).

Tali strumenti hanno introdotto requisiti prestazionali più stringenti, incentivando l'utilizzo di fonti rinnovabili, la diversificazione energetica e la diffusione dei sistemi di certificazione. Da ciò deriva un cambiamento sostanziale nell'approccio progettuale, indirizzato alla riqualificazione del patrimonio edilizio già esistente e alla realizzazione di edifici caratterizzati da consumi molto ridotti, coperti in modo sempre maggiore da fonti energetiche sostenibili, quali fotovoltaico, agrivoltaico, geotermia, eolico, idroelettrico e biomasse.

Protocollo di Kyoto (1997)

Il Protocollo di Kyoto ha costituito il momento di svolta che ha trasformato l'efficienza energetica da semplice ambito tecnico a punto cardine della strategia climatica europea. Adottato nel 1997 ed entrato in vigore nel 2005, si è trattato del primo accordo giuridicamente vincolante che imponeva ai Paesi industrializzati di ridurre le emissioni dei gas serra rispetto ai livelli del 1990. Per il primo periodo di impegno (2008–2012) venne previsto un taglio complessivo del 5,2%.

L'Unione Europea, per far fronte agli impegni assunti, avviò nel 2000 la European Climate Change Programme, individuando nell'efficienza energetica il mezzo più rapido e meno oneroso per conseguire gli obiettivi stabiliti dal protocollo. Da questo momento il clima e l'utilizzo dell'energia si inseriscono come ambiti fondamentali dell'azione comunitaria, mirando al conseguimento della transizione energetica tramite misure inizialmente più programmatiche, quali la Direttiva SAVE del 1993, e in seguito strumenti vincolanti e fisicamente misurabili.

Da qui nacque il cosiddetto pacchetto clima-energia del 2008 ("20-20-20"), che fissò tre obiettivi strategici per il 2020: la riduzione del 20% delle emissioni di gas a effetto serra, l'incremento della quota di energia rinnovabile al 20% e miglioramento dell'efficienza energetica del 20%. Questo approccio ha contribuito a definire la struttura delle politiche europee ancora oggi operative.

EPBD I (Energy Performance of Buildings Directive) - Direttiva 2002/91/UE

La Direttiva 2002/91/CE (prima EPBD) ha dato avvio al quadro normativo europeo sulla prestazione energetica degli edifici, introducendo per la prima volta un approccio integrato

tra involucro edilizio e impianti. L'introduzione coincide con la crescente consapevolezza, maturata a livello internazionale in seguito al Protocollo di Kyoto, del ruolo di rilievo del settore edilizio nella riduzione delle emissioni serra e dei consumi energetici. La direttiva ha pertanto orientato le politiche europee verso la riqualificazione del patrimonio edilizio e la progettazione più efficiente, incoraggiando comportamenti responsabili anche da parte degli utenti finali.

La direttiva ha stabilito, tra le varie disposizioni:

- una metodologia comune per il calcolo delle prestazioni energetiche;
- determinazione di requisiti minimi per nuove costruzioni e ristrutturazioni rilevanti;
- l'obbligo di certificazione energetica degli edifici;
- obbligo di ispezioni periodiche sulle caldaie e sui sistemi di climatizzazione, con particolare attenzione verso gli impianti termici in cui le caldaie abbiano superato i quindici anni di vita utile.

In Italia la EPBD è stata recepita con il D.lgs. 192/2005, che ha definito criteri e modalità per il miglioramento delle prestazioni degli edifici, promuovendo l'uso delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica. Con tale recepimento sono stati introdotti parametri di verifica, valori limite di trasmittanza termica e sistemi di schermatura solare, insieme alla valutazione complessiva dei consumi relativi a riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ventilazione e illuminazione.

Elemento centrale della direttiva è, secondo l'art.7, l'obbligo di certificazione energetica (ACE) nelle operazioni di costruzione, compravendita e locazione. Il documento, valido per un massimo di dieci anni, costituisce la versione precedente dell'attuale Attestato di Prestazione Energetica (APE), oggi strumento centrale in materia di efficienza energetica degli edifici.

EPBD II (Recast) - Direttiva 2010/31/UE

Nel 2010 è stata adottata una versione aggiornata della Direttiva europea sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD), nota come Direttiva 2010/31/UE o EPBD II "Recast", che ha introdotto formalmente il concetto di edificio a energia quasi zero (nZEB, Nearly Zero Energy Building).

Questo provvedimento ha stabilito che:

- dal 1/01/2019 tutti i nuovi edifici pubblici, comprese le strutture scolastiche, debbano essere realizzati con standard nZEB;
- dal 1/01/2021 tale obbligo sia esteso a tutte le nuove costruzioni.

In conformità ai principi stabiliti, gli edifici nZEB sono caratterizzati da un fabbisogno energetico estremamente ridotto, tale da essere coperto in misura significativa da energia prodotta da fonti rinnovabili, preferibilmente in sito o nelle immediate vicinanze.

L'EPBD Recast promuove il miglioramento complessivo della prestazione energetica del

patrimonio edilizio, considerando le condizioni climatiche locali, le esigenze di comfort degli occupanti e la convenienza economica degli interventi.

Essa introduce inoltre una metodologia unificata per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, la quale deve essere applicata in modo differenziato in funzione della tipologia edilizia. Per gli edifici di nuova costruzione viene attribuita particolare rilevanza all'efficienza dell'involucro edilizio e all'impiego di tecnologie basate su fonti rinnovabili o sistemi energetici decentrati, quali cogenerazione, teleriscaldamento e teleraffrescamento, pompe di calore e sistemi di autoproduzione energetica.

La direttiva prevede che gli Stati membri elaborino piani nazionali finalizzati all'incremento progressivo del numero di edifici a energia quasi zero e definiscano livelli ottimali di costo per le prestazioni energetiche, pur lasciando loro la libertà di fissare i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici.

Il provvedimento incentiva infine gli Stati membri a predisporre misure di supporto di incentivazione economica, che possono differenziarsi a livello nazionale.

EED (Energy Efficiency Directive) - Direttiva 2012/27/UE

Nel 2012 l'Unione Europea ha adottato la Direttiva 2012/27/UE (EED, Energy Efficiency Directive), istituendo un quadro normativo vincolante, fissando l'obiettivo di ridurre del 20% i consumi energetici entro il 2020 e rendendo obbligatorie una serie di misure concrete, tra cui programmi nazionali di efficienza energetica, audit periodici per le grandi imprese, obblighi annuali di risparmio per i distributori di energia e la riqualificazione del 3% annuo degli edifici pubblici.

La direttiva ha inoltre stabilito un quadro comune per garantire il conseguimento dell'obiettivo di miglioramento dell'efficienza energetica e ha fissato indicazioni e target nazionali di riferimento.

Accordo di Parigi (2015)

Adifferenza dell'accordo di Kyoto, basato su obblighi vincolanti solo per i Paesi industrializzati, l'Accordo di Parigi, adottato alla COP21 nel 2015, ha introdotto un approccio universale e flessibile alla riduzione delle emissioni, coinvolgendo tutti gli Stati attraverso i *Nationally Determined Contributions* (NDC). Esso stabilisce l'obiettivo principale di mantenere l'aumento della temperatura globale al di sotto di 1,5- 2°C rispetto ai livelli preindustriali. L'accordo prevede un sistema di revisione quinquennale degli impegni e promuove strategie a lungo termine per conseguire la neutralità climatica entro il 2050.

Le direttive ad esso correlate impongono obiettivi di efficienza vincolanti (+32,5% entro il 2030), incentivano la riqualificazione degli edifici ad uso pubblico e sottolineano l'obbligo per le pubbliche amministrazioni di agire come modello per gli altri settori.

EPBD III (Revisione) - Direttiva 2018/844/UE

La revisione del 2018 della Direttiva europea sulla prestazione energetica degli edifici, nell'ambito del *Clean Energy Package*, ha posto maggiore attenzione sul patrimonio edilizio esistente, promuovendo ristrutturazioni profonde e l'adozione di tecnologie digitali (*smart building*). La Direttiva UE 2018/844 (EPBD III), entrata in vigore il 30 maggio 2018, modifica

la Direttiva 2010/31/UE (EPDB II) e la Direttiva 2012/27/UE (EED), fissando obiettivi per il 2030 quali la riduzione delle emissioni di gas serra di almeno il 40% rispetto al 1990, l'incremento della quota di energia da fonti rinnovabili e il miglioramento della sicurezza, della competitività e della sostenibilità energetica dell'Europa.

Il quadro normativo mira a:

- accelerare la ristrutturazione economicamente efficiente degli edifici esistenti;
- integrare strategie di lungo termine per favorire investimenti e raggiungere edifici a emissioni zero entro il 2050;
- incentivare l'uso di tecnologie digitali e sistemi intelligenti per ottimizzare il consumo e il funzionamento degli edifici;
- promuovere la mobilità elettrica, integrando infrastrutture di ricarica negli edifici;
- razionalizzare e semplificare le disposizioni delle versioni precedenti della direttiva.

Inoltre, la direttiva incoraggia l'installazione di sistemi di automazione e monitoraggio degli impianti tecnologici (domotica) come alternativa più efficiente ai controlli manuali, definisce requisiti per i nuovi edifici e le ristrutturazioni importanti in termini di predisposizione o installazione minima di punti di ricarica elettrica; incoraggia altresì l'integrazione tra efficienza energetica, comfort termico e qualità ambientale interna, introducendo i *Smart Readiness Indicators* (SRI), da affiancare alla classificazione tradizionale basata sulla prestazione energetica, per valutare la capacità degli edifici di utilizzare tecnologie intelligenti.

Modifica della Direttiva 2012/27/UE (EED) - Direttiva 2018/2002/UE

Nel 2018 la Direttiva sull'efficienza energetica (EED) è stata aggiornata per allinearsi agli obiettivi del pacchetto *Clean Energy for All Europeans*. Tale revisione ha esteso l'orizzonte temporale al 2030, fissando un obiettivo di incremento dell'efficienza energetica del 32,5%, rafforzando le misure per il settore pubblico e sancendo il principio della priorità all'efficienza energetica ("energy efficiency first").

Green Deal europeo (2019)

Il Green Deal europeo, presentato dalla Commissione Von Der Leyen nel dicembre del 2019, costituisce la risposta strutturale dell'UE all'Accordo di Parigi, proponendo una strategia di trasformazione economica e industriale finalizzata a rendere l'Europa neutrale entro il 2050.

Il Green Deal si configura come una cornice strategica per l'orientamento delle politiche europee nei settori dell'energia, dei trasporti, dell'edilizia, dell'agricoltura e della finanza. Tra i principali strumenti presentati vi sono:

- la strategia "*Renovation Wave*" (2020) atta a raddoppiare il tasso di ristrutturazione energetica degli edifici pubblici e privati, con priorità per scuole, ospedali e edilizia sociale;
- il piano per la mobilità sostenibile;

- il “*Just Transition Mechanism*” per supportare le regioni maggiormente dipendenti dai combustibili fossili;
- il rafforzamento del principio “*Energy Efficiency First*”, reso vincolante nelle decisioni politiche e di investimento.

Il Green Deal ha inoltre delineato il quadro politico per la legislazione climatica successiva, tra cui la Legge europea sul clima (Regolamento UE 2021/1119), che rende giuridicamente vincolante la neutralità climatica al 2050 e stabilisce un obiettivo intermedio di riduzione del 55% delle emissioni entro il 2030, e la revisione delle direttive EED e EPBD, confluita nel pacchetto *Fit for 55* del 2021.

Fit for 55 (2021)

Il pacchetto *Fit for 55*, presentato dalla Commissione europea nel luglio 2021, traduce in norme vincolanti gli impegni dell'Accordo di Parigi e del Green Deal, rendendo l'efficienza energetica e la decarbonizzazione degli edifici obiettivi legislativi. Il nome richiama l'obiettivo di diminuire le emissioni di gas climalteranti di almeno il 55% entro il 2030, in coerenza con la Legge europea sul clima.

Tra le principali misure adottate vi sono le revisioni delle direttive EED (attualmente Direttiva UE 2023/1791) ed EPBD (Direttiva UE 2024/1275, EPBD IV).

Modifica della Direttiva 2012/27/UE (EED) - Direttiva (UE) 2023/1791

La più recente revisione della Direttiva sull'efficienza energetica (EED), approvata nel 2023, rafforza gli impegni degli Stati membri introducendo obiettivi vincolanti e misure più incisive. Essa impone una riduzione obbligatoria del consumo finale dell'11,7% entro il 2030 rispetto alle proiezioni di riferimento e incrementa gli obiettivi annuali di risparmio, variabili tra l'1,3% e l'1,9% in base al periodo considerato. La direttiva accentua inoltre nuovamente il ruolo del settore pubblico come esempio da seguire, imponendo requisiti sempre più stringenti per edifici e servizi, e potenzia le misure per contrastare la povertà energetica e supportare i consumatori vulnerabili.

EPBD IV (Recast) - Direttiva 2024/1275/UE

Il 30 giugno 2025, la Commissione Europea ha pubblicato una serie di documenti volti a supportare gli Stati membri nel recepimento della Direttiva “Case Green” (EPBD IV), in vigore dal 28 maggio 2024. L'obiettivo centrale della direttiva è la decarbonizzazione totale del patrimonio immobiliare dell'UE entro il 2050, tramite la riqualificazione e il miglioramento energetico del parco edilizio europeo, sia pubblico che privato, a partire dagli edifici meno efficienti. Prevede inoltre che già dal 2028 tutti gli edifici pubblici di nuova costruzione dovranno garantire assicurare zero emissioni durante l'utilizzo; dal 2030 tale provvedimento riguarderà anche tutti i nuovi edifici residenziali privati.

La direttiva introduce a tal proposito la definizione di Zero Emission Building (ZEmB), agli art. 7 e 11, come un edificio «*ad altissima prestazione energetica, come determinato in conformità all'Allegato I; che richiede una quantità di energia nulla o molto bassa; che produce zero emissioni di carbonio in loco da combustibili fossili; che produce una quantità di emissioni operative di gas serra nulla o molto bassa*», seppur non sia presente alcuna

quantificazione di tali termini. Il consumo totale di un edificio a energia zero deve provenire necessariamente da:

- energia da fonti rinnovabili generata sul posto o nelle immediate vicinanze;
- energia da fonti rinnovabili fornita da una comunità energetica rinnovabile;
- energia da un sistema di teleriscaldamento e teleraffrescamento efficiente;
- energia da fonti prive di emissioni di carbonio (fonti rinnovabili e nucleare).

Per soddisfare il fabbisogno energetico è consentito importare temporaneamente energia da altre fonti, anche non carbon-free, a condizione di compensare su base annuale questa energia con quella da fonte rinnovabile, prodotta e utilizzata sul posto per usi non considerati nella valutazione della prestazione energetica, oppure esportata nella rete.

Agli edifici ZEmB sarà riservata la classe A del nuovo sistema di classificazione univoco introdotto dalla direttiva, il cui allegato III fornisce chiarimenti su come implementare e rendere operativi i principali requisiti aggiornati relativi agli attestati di prestazione energetica (APE). È stata inoltre introdotta la possibilità di richiedere su base volontaria la classe A+, riservata agli edifici che generano su base annua una quantità di energia (esclusivamente rinnovabile) superiore al loro fabbisogno totale di energia primaria.

Il documento raccomanda anche che la classe G non contenga più del 26% del patrimonio edilizio e che l'insieme delle classi E, F, G degli edifici residenziali rappresenti il 43% degli edifici con le prestazioni peggiori.

Per il raggiungimento dell'obiettivo di decarbonizzazione, la direttiva stabilisce un quadro comune generale, costituito da una metodologia aggiornata per il calcolo della prestazione energetica integrata degli edifici e dall'introduzione dei nuovi requisiti minimi. L'Europa dà agli Stati membri due anni di tempo per adeguarsi e adottare piani nazionali che provvedano alla riduzione delle emissioni degli edifici residenziali e non, lasciando tuttavia un margine di libertà: "Case Green" è infatti una revisione delle direttive precedenti e contiene obiettivi intermedi meno stringenti e termini più estesi. Gli obiettivi a medio termine vengono definiti sulla base del patrimonio edilizio, delle strategie di ristrutturazione intraprese e del sistema nazionale di classificazione energetica di ciascun Paese.

Complessivamente la ristrutturazione degli edifici con le prestazioni peggiori dovrà garantire il 55% della riduzione dei consumi energetici. Entro il 2030, tali ristrutturazioni dovranno coinvolgere il 15% degli immobili non residenziali e, entro il 2033, il 26% degli edifici con classe energetica più bassa. Inoltre, il 43% degli immobili meno efficienti dovrà essere oggetto di riqualificazione energetica.

La direttiva introduce ulteriori punti fondamentali:

- gli Stati membri devono provvedere alla diminuzione del consumo medio di energia primaria in kWh/ (m² a) per gli edifici residenziali esistenti almeno del 16% entro il 2030 e del 20-22% entro il 2035. Entro il 2040 e successivamente a intervalli quinquennali, tale indice dovrà essere inferiore o la massimo equivalente al valore nazionale, stabilito da un calo progressivo del consumo medio di energia primaria

dal 2030 al 2050, nell'ottica del raggiungimento di un parco immobiliare residenziale a emissioni zero.

- gli Stati membri stabiliscono le soglie massime di prestazione energetica per gli edifici non residenziali, stabilite sulla base della situazione immobiliare esistente al 1° gennaio 2020, affinché il parco immobiliare nazionale non residenziale superi tale soglia per il 16% entro il 2030 e per il 26% entro il 2033.
- gli Stati membri devono assicurare che gli edifici di nuova costruzione siano "solar-ready", ovvero predisposti all'installazione di impianti fotovoltaici o solari termici sulle coperture. Gli edifici della pubblica amministrazione e non residenziali esistenti gli impianti ad energia solare dovranno programmare l'installazione progressivamente, a partire dal 2027, laddove ciò sia tecnicamente, economicamente e funzionalmente fattibile. Tali disposizioni entreranno in vigore secondo un calendario prestabilito a seconda della tipologia e delle dimensioni dell'edificio. Entro il 2029 l'obbligo riguarderà anche tutti i nuovi edifici residenziali.
- a partire dal 1° gennaio 2025, saranno sospesi gli incentivi finanziari per l'installazione di caldaie autonome alimentate da combustibili fossili. Gli Stati membri devono elaborare piani dettagliati per l'eliminazione graduale dell'uso dei combustibili fossili, al fine di eliminare completamente tali caldaie entro il 2040.
- vengono introdotte disposizioni riguardo al potenziale di riscaldamento globale (GWP, global warming potential) nel ciclo di vita dei nuovi edifici. Il GWP riguarda sia le emissioni dirette e indirette rilasciate durante l'utilizzo lungo tutta la vita dell'edificio, che le emissioni di gas serra incorporate nei materiali da costruzione. È previsto all'art. 7 che il GWP sia calcolato e indicato nell'attestato di prestazione energetica dei nuovi edifici, dal 2028 per i nuovi edifici di grandi dimensioni e dal 2030 per tutti i nuovi edifici.

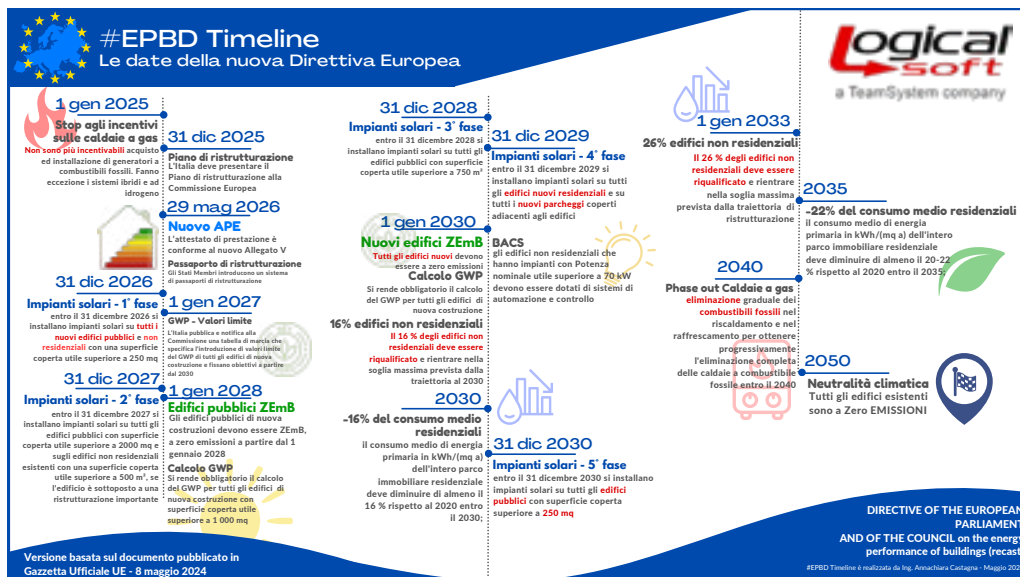


Fig. 3.1 EPBD Timeline. [Fonte: LogicalSoft].

3.2 Normativa nazionale

Legge 373/76: “Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici”.

In Italia la prima normativa che riguarda l'efficienza energetica nell'ambito dell'edilizia è stata la legge 373/76, la quale si proponeva di limitare gli effetti della crisi petrolifera dei primi anni '70. La legge principalmente introduce dei parametri riguardanti l'isolamento termico dell'involucro degli edifici e la progettazione degli impianti termici. Il provvedimento di maggior rilievo è l'introduzione dell'obbligo del calcolo delle dispersioni e del loro contenimento entro un valore massimo predefinito, raggiungibile appunto tramite l'isolamento termico dell'involucro.

Legge 10/91: “Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”.

La Legge 10/1991 introduce per la prima volta una strategia organica unitaria nell'ambito dell'efficienza: gli strumenti operativi e amministrativi introdotti costituiranno la base delle norme emanate negli anni a venire.

L'obiettivo cardine è promuovere l'uso razionale dell'energia, ridurre i consumi e incentivare l'impiego di fonti rinnovabili, specialmente nel settore pubblico.

Tra i principi centrali si sottolineano:

- contenimento per gli edifici di nuova realizzazione e sottoposti a ristrutturazione del fabbisogno energetico relativo alla climatizzazione invernale ed estiva, alla produzione di acqua calda sanitaria e ai sistemi di ventilazione, segnalando la priorità per il settore pubblico;
- l'obbligo di redigere la “relazione tecnica di progetto” (nota comunemente come “Legge 10”), atta a documentare:
 - le prestazioni termiche dell'involucro dell'edificio;
 - la tipologia dei sistemi energetici installati e il loro rendimento;
 - il fabbisogno energetico, calcolato secondo le norme UNI vigenti;
 - la conformità ai limiti stabiliti dalla legge del fabbisogno energetico specifico e del rendimento globale medio stagionale.

Tale relazione, aggiornata dal D.lgs. 192/2005 e dal D.M. 26 giugno 2015, è ad oggi ancora obbligatoria e costituisce uno strumento fondamentale per garantire la conformità energetica degli interventi edilizi.

L'attuazione del provvedimento è stata successivamente disciplinata tramite due decreti attuativi: il DPR 412/1993 e il DPR 551/1999, i quali definiscono i criteri tecnici e le modalità applicative della legge, tra cui i calcoli relativi al FEN (fabbisogno energetico normalizzato)

con rimando a varie norme tecniche di riferimento (tra cui UNI 5364, UNI 8065, UNI 9182, UNI CIG 7129).

D.lgs. 192/2005: “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia”.

Con il D.lgs. 19/08/05 n° 192 l'Italia recepisce la direttiva europea 93/76/CEE (SAVE). In particolare, l'art. 1 del decreto in oggetto stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di promuovere la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica. Sono inoltre definite le modalità per contribuire al conseguimento degli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra imposti dal protocollo di Kyoto e per promuovere lo sviluppo tecnologico.

Viene inoltre previsto, secondo l'art.4, che il decreto in oggetto venga successivamente completato da ulteriori provvedimenti al fine di definire e disciplinare:

- i criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi orientati alla diminuzione dei consumi di energia e al raggiungimento degli obiettivi di cui all'articolo 1;
- la progettazione, l'installazione, l'esercizio, la manutenzione e l'ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici, per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari e, per il settore terziario, per l'illuminazione artificiale degli edifici;
- i criteri generali per il calcolo della prestazione energetica degli edifici;
- le linee guida nazionali a proposito della certificazione energetica degli edifici;
- i requisiti professionali e i criteri di accreditamento per i certificatori e gli ispettori degli impianti.

D.lgs. 115/2008: “Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE”.

Il decreto introduce una serie di misure finalizzate al miglioramento dell'efficienza degli usi finali dell'energia sotto il profilo costi e benefici. Inoltre, stabilisce nell'Allegato III la definizione del “soggetto certificatore” valida a livello nazionale, oltre all'obbligo di validazione dei software commerciali.

DPR 59/09: “Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del D.lgs. 192/05 concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia”.

Il documento è il primo dei decreti attuativi del D.lgs. 192/05 che introduce un nuovo quadro di disposizioni obbligatorie, che sostituiscono le indicazioni “transitorie” dell'Allegato I del D.lgs. 311/06 (“Disposizioni correttive e integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia”).

DM 26/6/09: “Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”.

Il decreto attuativo del D.lgs. 192/05 definisce le metodologie per la predisposizione dell’Attestato di certificazione energetica.

D.lgs. 28/2011: “Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”.

Il Decreto Legislativo 28/2011 costituisce il recepimento della Direttiva 2009/28/CE riguardo la promozione dell’uso dell’energia proveniente da fonti rinnovabili e introduce significative modifiche agli obblighi normativi sia in materia di copertura energetica da rinnovabili (art. 11 e Allegato III), sia in relazione alla certificazione energetica negli atti di compravendita e locazione (art. 13). Con l’Allegato III viene completato il quadro regolamentare nazionale riguardante l’obbligo di installazione di sistemi alimentati da fonti rinnovabili per soddisfare i fabbisogni energetici termici ed elettrici degli edifici.

Si stabilisce che gli impianti indirizzati alla produzione di energia termica devono essere progettati e realizzati così da garantire:

- la copertura mediante fonte rinnovabile di almeno il 50% del fabbisogno annuale di energia per la produzione di acqua calda sanitaria;
- il raggiungimento di specifiche percentuali di copertura complessiva dei fabbisogni relativi ad acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento, variabili in funzione della data di richiesta del titolo edilizio.

Il decreto interviene inoltre sui fabbisogni elettrici degli edifici, introducendo l’obbligo di installazione di impianti da fonte rinnovabile dimensionati in proporzione alla superficie utile o alla volumetria dell’edificazione, in modo da garantire un contributo energetico sostenibile stabile. Per gli edifici pubblici tali obblighi vengono incrementati del 10%.

DM 22/11/12: “Modifica del decreto 26 giugno 2009, recante: «Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici»”.

Il decreto attua una modifica delle Linee Guida Nazionali e in particolare vieta la possibilità di autodichiarare l’edificio in classe G.

DL 63/2013: “Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell’edilizia per la definizione delle procedure d’infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale”.

Con il Decreto Legislativo 63/2013 viene recepita la Direttiva 2010/31/UE, intervenendo sul quadro normativo nazionale mediante la modifica del D.lgs. 192/2005 e introducendo contestualmente una proroga delle agevolazioni fiscali previste per gli interventi di miglioramento dell’efficienza energetica degli edifici.

Un elemento di particolare rilievo introdotto dal provvedimento è la definizione dell’Attestato di Prestazione Energetica (APE), che sostituisce il precedente Attestato di Certificazione Energetica (ACE), mantenendone l’impianto generale ma aggiornandolo attraverso una

serie di specificazioni tecniche, metodologiche e documentali. L'APE costituisce lo strumento ufficiale di valutazione della prestazione energetica degli edifici ed assume valenza obbligatoria nei casi previsti dalla normativa (trasferimento di proprietà, locazione, nuova costruzione, ristrutturazione rilevante).

Dal punto di vista metodologico il decreto amplia il quadro dei servizi energetici considerati nel calcolo della prestazione energetica. Oltre ai fabbisogni relativi alla climatizzazione invernale ed estiva e alla produzione di acqua calda sanitaria, vengono inclusi:

- la ventilazione meccanica;
- l'illuminazione artificiale (soltanto per il settore terziario);
- l'energia necessaria all'alimentazione di ascensori e scale mobili, ove presenti.

Con tale ampliamento, il calcolo prestazionale assume un carattere maggiormente rappresentativo del comportamento energetico reale dell'edificio, consentendo una classificazione più accurata e coerente con gli obiettivi europei di riduzione dei consumi energetici e delle emissioni serra.

DPR 74/13: “Regolamento recante definizione dei criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, a norma dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e c), del D.lgs. 192/05”.

DPR 75/13: “Regolamento recante disciplina dei criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici, a norma dell'articolo 4, comma 1, lettera c), del D.lgs. 192/05”.

Legge 90/13: “Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63”.

La Legge 90/2013 apporta sostanziali aggiunte e modifiche al d.lgs. 192/2005, poi disciplinato dai suoi decreti attuativi. Inoltre, contiene la definizione di “edificio a energia quasi zero” (nZEB) e fissa i nuovi criteri per l'aggiornamento e la programmazione di standard prestazionali degli edifici, sia relativi all'involucro e agli impianti, che alle fonti rinnovabili, finalizzati al raggiungimento degli obiettivi fissati dalla comunità europea.

DM 26/6/15: “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti min. degli edifici”.

Il decreto ministeriale contiene tre provvedimenti di particolare rilievo, che completano il quadro normativo nazionale in materia di efficienza energetica degli edifici e definiscono in maniera esaustiva il campo di applicazione della Legge 90/2013. Essi intervengono su tre aspetti principali: i requisiti prestazionali minimi, la certificazione energetica degli edifici e la predisposizione delle relazioni tecniche di progetto. I decreti emanati sono, infatti, i seguenti:

- DM 26 giugno 2015 – Requisiti minimi;

- DM 26 giugno 2015 – Linee Guida APE;
- DM 26 giugno 2015 – Schemi di relazione tecnica.

Il cosiddetto “DM Requisiti Minimi” introduce nuove disposizioni relative alla determinazione della prestazione energetica degli edifici e aggiorna i requisiti minimi di efficienza da rispettare sia nelle nuove costruzioni sia negli interventi di ristrutturazione. Il “DM Linee Guida APE” definisce il nuovo modello di Attestato di Prestazione Energetica (APE), chiarendone contenuti, criteri metodologici e modalità di redazione. Il “DM Schemi di Relazione Tecnica” fornisce invece i modelli aggiornati della Relazione Tecnica prevista dalla Legge 10/1991, allineandone struttura e contenuti al D.lgs. 192/2005, con differenziazione in funzione della tipologia di intervento edilizio:

- nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti di primo livello, edifici ad energia quasi zero (Allegato 1);
- ristrutturazioni importanti di secondo livello, comprendenti interventi rilevanti sull’involucro edilizio e sugli impianti termici (Allegato 2);
- riqualificazioni energetiche degli impianti tecnici (Allegato 3).

L’Attestato di Prestazione Energetica era già requisito obbligatorio per l’accesso alle agevolazioni fiscali previste per gli interventi di efficientamento, in particolare per le misure di cui all’art. 14 del D.lgs. 63/2013, note come Ecobonus.

Con l’emanazione dei tre decreti si completa il percorso di recepimento della Direttiva 2010/31/UE (EPBD II Recast), avviato con il D.lgs. 63/2013 e successivamente convertito nella Legge 90/2013.

DLgs 48/2020: “Attuazione della direttiva 2018/844/UE (EPBD III) relativa al rendimento energetico in edilizia”.

Con questo documento la Repubblica Italiana introduce le nuove disposizioni europee all’interno dei regolamenti nazionali. Molti aspetti vengono però demandati a futuri decreti attuativi, che non sono ancora stati realizzati.

Il D.lgs. n. 48/2020 costituisce l’attuazione della Direttiva UE 2018/844 sulla prestazione energetica degli edifici, modificando il D.lgs. 192/2005. Definisce i criteri per la predisposizione delle strategie a lungo termine di ristrutturazione del parco immobiliare e, inoltre, introduce obblighi finalizzati all’integrazione delle infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici negli edifici, che comprendono sia i punti di ricarica che i sistemi di canalizzazione per future installazioni.

D.lgs. 199/2021: “Attuazione della direttiva 2018/2001/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, dell’11 dicembre 2018, sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili”.

Il provvedimento è responsabile di modifiche significative nell’ambito della copertura energetica da fonti rinnovabili, in particolare in relazione agli obblighi previsti dall’articolo 11 e dall’Allegato III, e revisiona inoltre le disposizioni relative alla certificazione energetica negli atti di compravendita e locazione, disciplinate dall’articolo 13.

Il decreto definisce gli strumenti operativi, le misure di incentivazione e il quadro giuridico, finanziario e istituzionale necessari al raggiungimento degli obiettivi europei e nazionali in materia di incremento della quota di energia rinnovabile entro il 2030.

Tra gli interventi più rilevanti introdotti dal D.lgs. 199/2021 è rilevante l'aumento al 60% della quota minima obbligatoria di copertura dei fabbisogni energetici degli edifici mediante fonti rinnovabili. Tale obbligo si applica alle nuove costruzioni e agli edifici sottoposti a ristrutturazioni importanti, con l'obiettivo di promuovere un modello edilizio ad elevata sostenibilità energetica e ridotto impatto ambientale, in coerenza con gli impegni assunti dall'Italia a livello europeo.

Nonostante gli impegni assunti a livello europeo e l'urgenza di intervenire in favore della transizione ecologica, la Direttiva 2024/1275/UE sulla prestazione energetica degli edifici, conosciuta come "Direttiva Case Green", è rimasta fuori dal disegno di Legge di delegazione UE per il recepimento delle direttive europee approvato martedì 22 luglio 2025 (n. 135) dal Consiglio dei ministri.

Questa scelta comporta il rischio non rispettare le scadenze fissate a livello europeo: il primo piano attuativo nazionale è previsto entro dicembre 2025, mentre la versione definitiva dovrà essere presentata entro maggio 2026. Il mancato rispetto di tali tempistiche potrebbe causare una procedura di infrazione da parte della Commissione Europea.

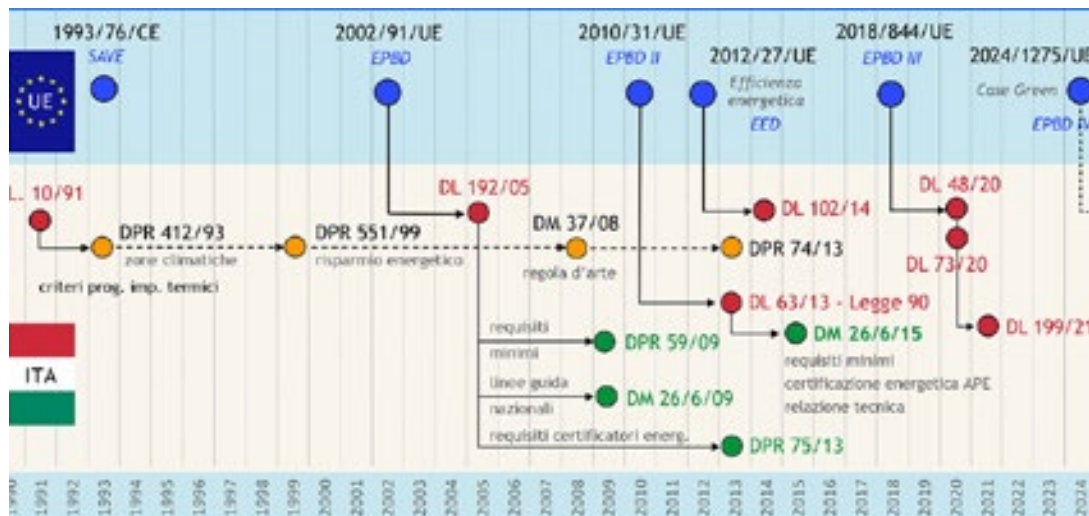


Fig. 3.2 Cronistoria normativa energetica [Fonte: Infobuildenergia].

4. Aspetti applicativi della normativa energetica nel settore edilizio

4.1 Metodologie di calcolo: le norme tecniche di riferimento per la stima delle prestazioni energetiche degli edifici

Secondo l'art. 3 del D.lgs. 192/2005, modificato dalla Legge 90/2013, le metodologie di calcolo per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici, in conformità alle norme EN a supporto delle direttive 2002/91/CE e 2010/31/UE, sono contenute nella Specifica tecnica UNI/TS 11300 "Prestazioni energetiche degli edifici", la quale è suddivisa in sei parti:

- **UNI/TS 11300-1 (2014): "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale".**

Definisce le modalità per l'applicazione a livello nazionale della UNI EN ISO 13790:2008, con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e raffrescamento. Riguarda tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008: calcolo di progetto ("*design rating*"), valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard ("*asset rating*") o in particolari condizioni climatiche e d'esercizio ("*tailored rating*").

- **UNI/TS 11300-2 (2019): "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali".**

Fornisce i dati e stabilisce i metodi di calcolo per la determinazione di:

- fabbisogno di energia termica utile per la produzione di acs;
 - fabbisogno di energia fornita e di energia primaria per la climatizzazione invernale e la produzione di acs;
 - fabbisogno di energia primaria per la ventilazione;
 - fabbisogno di energia primaria per l'illuminazione artificiale, in accordo con la UNI EN 15193 "Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione";
 - rendimenti e perdite dei sottosistemi di generazione alimentati a combustibili fossili.
- **UNI/TS 11300-3 (2010): "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva".**

Fornisce i dati e stabilisce i metodi di calcolo per la determinazione di:

- rendimento e fabbisogno di energia dei sistemi di climatizzazione estiva;
- fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva.

La specifica tecnica si applica soltanto a impianti fissi di climatizzazione estiva con macchine frigorifere azionate elettricamente o ad assorbimento e non si applica ai singoli componenti dei sistemi, per i quali rimanda invece alle norme di prodotto specifiche.

- **UNI/TS 11300-4 (2012): “Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”.**

La specifica fornisce il metodo di calcolo per il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria qualora siano presenti sottosistemi di generazione da fonti rinnovabili, o con metodi di generazione diversi dalla combustione a fiamma di combustibili fossili trattata nella UNI/TS 11300-2. Sono considerate le seguenti sorgenti di energie rinnovabili per produzione di energia termica utile: solare termico, biomasse, fonti aerauliche, geotermiche e idrauliche nel caso di pompe di calore per la quota considerata rinnovabile e solare fotovoltaico per l'energia elettrica.

- **UNI/TS 11300-5 (2016): “Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili”.**

La specifica sostituisce la Raccomandazione CTI 14/2013 e fornisce il metodo di calcolo per il fabbisogno di energia primaria sulla base dell'energia consegnata ed esportata, e per la quota di energia da fonti rinnovabili.

- **UNI/TS 11300-6 (2016): “Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori e scale mobili”.**

La specifica fornisce il metodo di calcolo per il fabbisogno di energia elettrica volta al funzionamento di impianti di risalita e al trasporto di persone e cose in un edificio (ascensori, montascale, piattaforme elevatrici, montacarichi e monta-auto, scale mobili, marciapiedi mobili), tenendo in considerazione solo il fabbisogno di energia elettrica nei periodi di movimento e di sosta della fase operativa del ciclo di vita.

4.2 Diagnosi energetica

Il D.lgs. 102 del 4 luglio 2014, che recepisce la Direttiva europea 2012/27/UE, definisce la Diagnosi Energetica (DE) o Audit Energetico come *«Procedura sistematica mirata a ottenere un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o commerciale o di servizi pubblici o privati, a individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e a riferire in merito ai risultati»*.

Essa deve essere svolta precedentemente a qualsiasi tipo di intervento di efficientamento energetico, in quanto procedura atta ad acquisire una conoscenza adeguata dell'edificio nelle sue componenti edilizie e impiantistiche e nei suoi consumi, al fine di individuarne le criticità e delineare delle possibili strategie di efficientamento, quantificando le opportunità di risparmio energetico e i benefici economici e ambientali. A questo scopo, il procedimento di diagnosi deve soddisfare sei requisiti: accuratezza, completezza, rappresentatività, tracciabilità, utilità e verificabilità.

In alcuni casi, per determinate categorie di edifici e imprese, tale procedura è obbligatoria per legge.

Il D.lgs. 102/2014, ha disposto l'obbligatorietà per i seguenti soggetti:

- grandi imprese con più di 250 dipendenti e il cui fatturato annuo è maggiore di 50 milioni di euro o il cui totale di bilancio annuo supera i 43 milioni di euro;
- imprese a forte consumo di energia che consumano più di 2.4 GWh e il cui rapporto tra costo effettivo dell'energia utilizzata e valore del fatturato non sia inferiore al 3%.

Il medesimo decreto contiene anche le disposizioni relative agli edifici pubblici e alle pubbliche amministrazioni:

- sono sottoposti all'obbligo dell'effettuazione della Diagnosi energetica gli edifici pubblici o di uso pubblico, qualora siano sottoposti a interventi di ristrutturazione degli impianti termici o di ristrutturazioni edilizie che riguardino almeno il 15% della superficie esterna dell'involucro che racchiude il volume lordo riscaldato;
- secondo il punto 2.4.1 del DM 23 giugno 2022 (CAM 2022), gli edifici pubblici oggetto di ristrutturazione importante di primo e secondo livello con superficie utile di pavimento uguale o superiore a 1000m² e inferiore a 5000m², sono sottoposti all'obbligo dell'effettuazione della Diagnosi energetica "standard", basata sul metodo quasi stazionario e conforme alle norme UNI CEI EN 16247-1 e UNI CEI EN 16247-2, eseguita secondo quanto previsto dalle Linee Guida della norma UNI/TR 11775.
- gli edifici oggetto di ristrutturazione importante di primo e secondo livello di edifici con superficie utile uguale o superiore a 5000 m², sono sottoposti all'obbligo dell'effettuazione della Diagnosi energetica "dinamica", conforme alle norme UNI CEI EN 16247-1 e UNI CEI EN 16247-2 ed eseguita secondo le Linee Guida della norma UNI/TR 11775, basata sul metodo dinamico orario del calcolo del fabbisogno

energetico per il riscaldamento e il raffrescamento, definito dalla norma UNI EN ISO 52016-1.

Nell'ambito degli edifici residenziali, l'art. 5.3 del DM 26/06/2015 (Decreto Requisiti Minimi), attuativo della L. 90/2013, prevede la Diagnosi energetica obbligatoria nel caso di ristrutturazione o di nuova installazione di impianti termici di potenza termica nominale del generatore maggiore di 100 kW.

Inoltre, il D.lgs. 102/2014 specifica i soggetti autorizzati a eseguire la diagnosi. Fino al 19/06/2016, le diagnosi energetiche potevano essere svolte da ESCo (società di servizi energetici), EGE (esperti in gestione dell'energia) o Energy Auditor (auditor energetici). In seguito, le diagnosi devono essere eseguite da soggetti certificati da organismi accreditati ai sensi del regolamento comunitario 765/08 o firmatari degli accordi internazionali di mutuo riconoscimento, in base alle norme UNI CEI 11352 e UNI CEI 11339.

La procedura per il corretto svolgimento della Diagnosi Energetica è stabilita dalla Norma UNI CEI EN 16247-1, che descrive l'intera sequenza in ordine cronologico.

Questa procedura può essere riassunta e suddivisa nei seguenti step:

- raccolta dei dati necessari a determinare i consumi reali dell'edificio allo stato di fatto, sulla base dei quali sarà possibile effettuare le successive analisi. La norma presenta una lista esemplificativa, seppur non esaustiva, di dati dell'edificio da reperire, quali le dimensioni geometriche del fabbricato, la tipologia e la stratigrafia delle pareti, la trasmittanza termica delle componenti opache e trasparenti, le informazioni sul sistema impiantistico, come la tipologia del generatore di calore, la potenza al focolare e il rendimento di generazione, e infine le bollette relative ai vettori energetici utilizzati. Il rapporto tecnico raccomanda anche di raccogliere informazioni relative al funzionamento dell'impianto e gestione dell'edificio (quali ad esempio orari di accensione del generatore di calore, numero di persone presenti al giorno ecc.);
- costruzione dell'inventario energetico a partire dai dati raccolti, associato ai servizi effettivamente presenti tra riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione, ventilazione, trasporto di persone e cose. Questo passaggio della diagnosi energetica consiste nella ripartizione dei consumi dell'edificio per ogni servizio presente. Tale inventario permette una lettura immediata della ripartizione dei consumi dello stato di fatto e di individuare i servizi coi consumi maggiori, sui quali sarà opportuno intervenire per efficientare l'edificio oggetto di diagnosi energetica;
- identificazione e calcolo degli interventi migliorativi della prestazione energetica dopo l'inventario. Essi possono essere individuati anche attraverso l'uso di modelli di simulazione del sistema edificio-impianto che permettano di tener conto anche della loro eventuale interferenza.

Il rapporto tecnico UNI/TR 11775:2020 affida al Responsabile della Diagnosi Energetica (denominato REDE) il compito di stabilire quali interventi migliorativi disporre e/o suggerire al committente;

- analisi economica degli interventi che il REDE ritiene più opportuni e vantaggiosi. Questa analisi permette quindi di analizzare gli interventi previsti non solo da un punto di vista tecnico ma anche economico, permettendo di attribuire un ordine di priorità in base alla convenienza tecnico-economica;
- stesura del report finale dettagliato e comunicazione dei risultati da parte del REDE al committente. La procedura indicata dal rapporto tecnico è una metodologia piuttosto articolata e consente di analizzare in modo standardizzato i consumi energetici del parco immobiliare italiano, e di identificare e valutare anche economicamente le potenziali opportunità di miglioramento energetico e di ottenere risultati che potrebbero essere oggetto di confronto per la medesima tipologia edilizia.

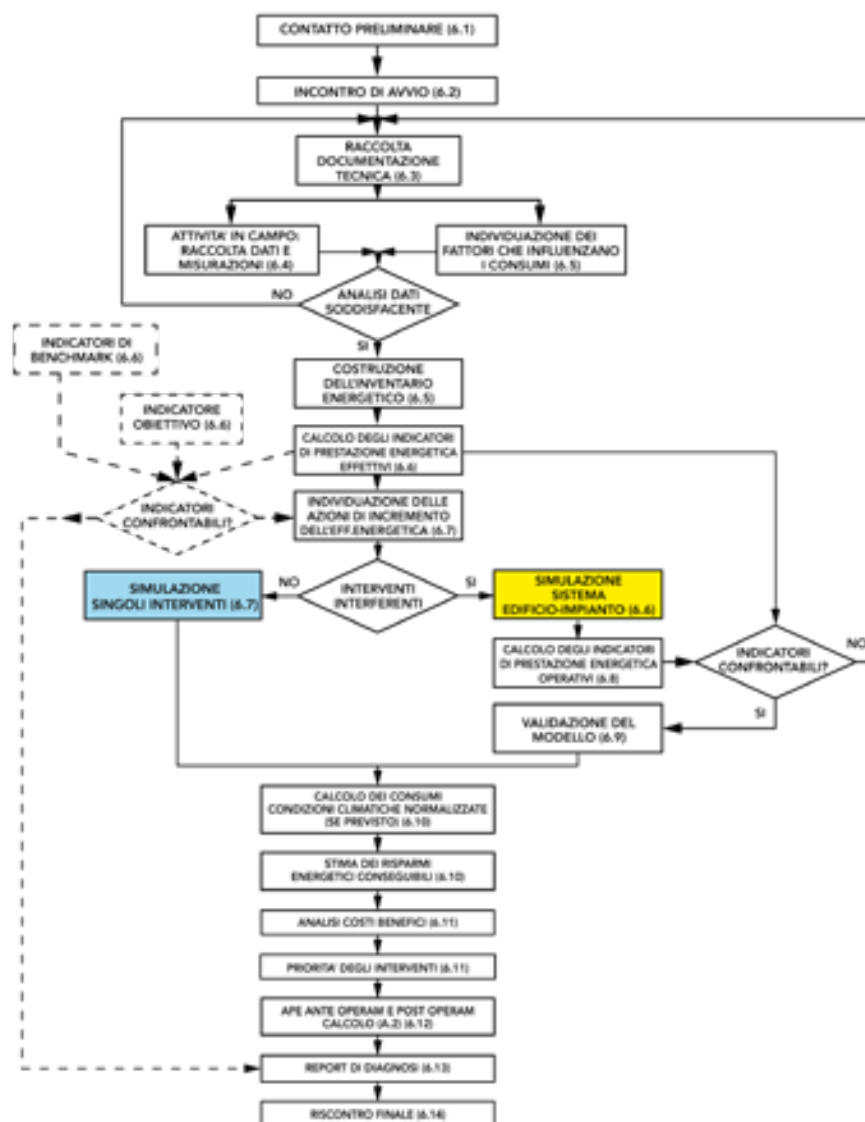


Fig. 4.1 Diagramma di flusso relativo alla diagnosi energetica di un generico edificio [Fonte: UNI/TR 11775:2020].

4.3 Requisiti minimi per il calcolo della prestazione energetica degli edifici

L'Italia ha recepito le direttive europee attraverso diverse disposizioni legislative a partire dal D.lgs. 192/2005 fino ai più recenti D.lgs. 48/2020 e D.lgs. 199/2021.

Un provvedimento normativo di particolare rilievo è il DM 26/6/15 (Decreto Requisiti Minimi), il quale definisce, secondo la norma tecnica UNI/TS 11300, le modalità di applicazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici e aggiorna le prescrizioni e i requisiti minimi di efficienza energetica degli edifici.

I decreti attuativi contenuti nel DM 26/6/15 riguardanti i requisiti minimi, le linee guida nazionali per la certificazione energetica e i nuovi modelli per la relazione tecnica, costituiscono l'applicazione della legge 90/13, convertita dal DL 63/13, in recepimento della Direttiva 2010/31/UE.

La prestazione energetica degli edifici è determinata secondo la quantità effettiva di energia necessaria su base annua per soddisfare le esigenze legate a un uso standard dell'edificio ed equivale al fabbisogno energetico annuale globale in energia primaria per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione meccanica, la produzione di acqua calda sanitaria e, nel settore non residenziale, per l'illuminazione artificiale e gli impianti di risalita.

Nel dettaglio:

- il fabbisogno energetico annuale globale è la somma dei fabbisogni di energia primaria di ogni servizio energetico, determinati con intervallo di calcolo mensile. Con le medesime modalità si calcola l'energia da fonte rinnovabile prodotta all'interno del confine del sistema;
- è possibile compensare tra i fabbisogni energetici e l'energia prodotta da fonte rinnovabile, o da cogenerazione prodotta in situ, secondo determinate condizioni;
- al fine del rispetto dei requisiti minimi, si effettua il calcolo sia dell'energia primaria totale che dell'energia primaria non rinnovabile, determinate applicando rispettivamente i fattori di conversione in energia primaria totale $f_{P,tot}$ e in energia primaria non rinnovabile $f_{P,nren}$, riportati nella tabella 1;
- la classificazione degli edifici è decretata dalla quantità di energia primaria non rinnovabile;

il decreto pone l'attenzione sull'analisi della quota rinnovabile e non rinnovabile dei fabbisogni energetici richiesti in funzione dei vettori energetici utilizzati. Il fattore di conversione in energia primaria totale è pari alla somma del fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile e quello di conversione in energia primaria rinnovabile

$$(f_{P,tot} = f_{P,nren} + f_{P,ren})$$

- i fattori di conversione dei vettori energetici sono riportati nella tabella 1, allegato I, art.1.1, in funzione del vettore energetico utilizzato.

Fattori di conversione in energia primaria dei vettori energetici			
$f_{p,tot} = f_{p,nren} + f_{p,ren}$			
Vettore energetico	$f_{p,nren}$	$f_{p,ren}$	$f_{p,tot}$
Gas naturale ⁽¹⁾	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide ⁽²⁾	0,20	0,80	1,00
Biomasse liquide e gassose ⁽²⁾	0,40	0,60	1,00
Energia elettrica da rete ⁽³⁾	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento ⁽⁴⁾	1,5	0	1,5
Rifiuti solidi urbani	0,2	0,2	0,4
Teleraffrescamento ⁽⁴⁾	0,5	0	0,5
Energia termica da collettori solari ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico ⁽⁶⁾	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – free cooling ⁽⁷⁾	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – pompa di calore ⁽⁸⁾	0	1,00	1,00

⁽¹⁾ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.
⁽²⁾ Come definite dall'allegato X del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.
⁽³⁾ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.
⁽⁴⁾ Fattore assunto in assenza di valori dichiarati dal fornitore e asseverati da parte terza, conformemente a quanto previsto al paragrafo 3.2.
⁽⁵⁾ Valori convenzionali funzionali al sistema di calcolo.

Fig. 4.2 Fattori di conversione in energia primaria dei vettori energetici. [Fonte: DM 26/6/15, All. 1, Art.1.1, elaborazione ANIT].

La quantità di energia calcolata è associata a uno o più descrittori, gli indici di prestazione, legati a diversi aspetti dell'edificio tra cui il livello di isolamento dell'involucro e le caratteristiche degli impianti tecnici, e può essere espressa in termini di energia primaria non rinnovabile, rinnovabile, o totale ($EP_{gl,nren}$, $EP_{gl,ren}$, $EP_{gl,tot}$).

L'indice di prestazione energetica globale è calcolato come la somma dei diversi indici:

$$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T [kWh/m^2]$$

- EP_H [kWh/m^2] = indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;
- $EP_{H,nd}$ [kWh/m^2] = indice di prestazione termica utile per il riscaldamento;
- EP_W [kWh/m^2] = indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria;
- EP_V [kWh/m^2] = indice di prestazione energetica per la ventilazione;
- EP_C [kWh/m^2] = indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;
- $EP_{C,nd}$ [kWh/m^2] = indice di prestazione termica utile per il raffrescamento;
- EP_L [kWh/m^2] = indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale;
- EP_T [kWh/m^2] = indice di prestazione energetica del servizio per il trasporto di persone o cose.

Per determinare le verifiche da rispettare in accordo con le regole nazionali, in primo luogo si deve circoscrivere l'intervento tra gli "Ambiti di applicazione", in conformità con il D.M. 26/06/15, i quali si differenziano in:

- Edifici di nuova costruzione e ampliamenti (ricadono in questa categoria gli ampliamenti volumetrici di un edificio esistente, gli interventi di recupero di volumi

esistenti in precedenza non climatizzati, interventi di cambio di destinazione d'uso (ad esempio recupero di sottotetti o magazzini);




	Nuova costruzione (All. 1 Art. 1.3) Per edificio di nuova costruzione si intende l'edificio il cui titolo abilitativo sia stato richiesto dopo l'entrata in vigore del DM 26/6/15 (nd), ovvero dal 1° ottobre 2015).
Sono assimilati a edifici di nuova costruzione:	
	Demolizione e ricostruzione (All. 1, Art. 1.3) Rientrano in questa categoria gli edifici sottoposti a demolizione e ricostruzione, qualunque sia il titolo abilitativo necessario.
	Ampliamento di edifici esistenti con nuovo impianto (All. 1 Art. 1.3 e Art. 6.1) (*) Ampliamento di edifici esistenti (dotati di nuovi impianti tecnici) per il quale valga almeno una delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • nuovo volume lordo climatizzato > 15% volume lordo climatizzato esistente (*) • nuovo volume lordo climatizzato > 500 m³ La parte ampliata di fatto è trattata come una porzione di nuova costruzione. (*) si veda anche la nota sul recupero di volumi esistenti)
Per quanto riguarda gli ampliamenti, il decreto individua di fatto un'ulteriore casistica:	
	Ampliamento di edifici esistenti con estensione di impianto (All. 1 Art. 1.3 e Art. 6.1) (*) Ampliamento di edifici esistenti (collegati all'impianto tecnico esistente) per il quale valga almeno una delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • nuovo volume lordo climatizzato > 15% volume lordo climatizzato esistente (*) • nuovo volume lordo climatizzato > 500 m³ (*) si veda anche la nota sul recupero di volumi esistenti)

Fig. 4.3 Ambiti Applicazione [Fonte: DM 26/6/15, All. 1, Art.1.3 e Art. 6.1, elaborazione ANIT].

- Edifici soggetti a ristrutturazioni importanti (di primo e secondo livello).



	Ristrutturazioni importanti di primo livello (All. 1 Art. 1.4.1) La ristrutturazione prevede contemporaneamente: <ul style="list-style-type: none"> • un intervento che interessa l'involucro edilizio con un'incidenza > 50 % della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio (*); • la ristrutturazione dell'impianto tecnico (*) per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all'intero edificio. In tal caso i requisiti di prestazione energetica si applicano all'intero edificio e si riferiscono alla sua prestazione energetica relativa al servizio o servizi interessati.
	Ristrutturazioni importanti di secondo livello (All. 1 Art. 1.4.1) L'intervento interessa l'involucro edilizio con un'incidenza > 25 % della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio (*) e può interessare l'impianto tecnico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva. Le verifiche previste per questa casistica riguardano quindi il controllo di prestazioni sull'involucro e/o sugli impianti in base all'intervento previsto. Per facilitare la lettura della nostra guida, si è deciso di risolvere la casistica in due parti riconoscendo le verifiche separatamente all'involucro e/o agli impianti se previsto.

Fig. 4.4 Ambiti Applicazione [Fonte: DM 26/6/15, All. 1, Art.1.4.1, elaborazione ANIT].

Il decreto individua infine una categoria per tutti gli interventi non riconducibili ai casi precedenti, ma che tuttavia hanno un impatto sulla prestazione energetica dell'edificio. In tali casi i requisiti di prestazione energetica richiesti vanno applicati ai soli componenti edilizi e impianti oggetto di intervento, e riguardano le loro caratteristiche termo-fisiche o di efficienza.

- Edifici soggetti a riqualificazione energetica





	Riqualificazione energetica dell'involucro (All. 1 Art. 1.4.2) (*) Interventi sull'involucro che coinvolgono una superficie ≤ 25 % della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio (*).
	Nuova installazione di impianto (All. 1 Art. 1.4.2 e Art. 6.1) (*) Gli interventi di nuova installazione di impianto tecnico asservito all'edificio per i servizi di riscaldamento, di raffrescamento e produzione di ACS.
	Ristrutturazione di impianto (All. 1 Art. 1.4.2 e Art. 6.1) (*) Gli interventi di ristrutturazione di impianto tecnico asservito all'edificio (*) per i servizi di riscaldamento, di raffrescamento e produzione di ACS.
	Sostituzione del generatore (All. 1 Art. 1.4.2 e Art. 6.1) (*) Gli interventi di sostituzione del solo generatore e installazione di generatori e/o altri impianti tecnici per il soddisfacimento dei servizi dell'edificio.

Fig. 4.5 Ambiti Applicazione [Fonte: DM 26/6/15, All. 1, Art.1.4.2 e Art. 6.1, elaborazione ANIT].

In secondo luogo, si determina la “Classificazione dell’edificio”, in conformità con il DPR 412/93, tra:

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

Si ricorda che gli indici riguardanti l’illuminazione artificiale e il trasporto non si calcolano per la categoria E.1 e pertanto non rientrano nel calcolo di $EP_{gl,tot}$ (ad eccezione di collegi, conventi, case di pena, caserme ed ulteriori edifici ricadenti nella categoria E.1(3)).

Successivamente si fa riferimento allo “Schema delle verifiche”, incrociando le colonne dove si può scegliere il tipo d’intervento, con le righe dove sono elencate le classificazioni dell’edificio.

E1(1)							
E1(2)							
E1(3)	A,B,D,F,G, H,J,K,L*,M,		A,B,D,E,F,G, H,J,K,L*,M, P,Q,R,S, T,W,X,Y				
E2							
E3	P,Q,R,S, T,W,X,Y			B,C,E,F,J, K, L*	C,E,F,J, K,Q		
E4						E, M,N, Q, R,S, U,V, W,X,Y	
E5		B,F,H, K,Q,S, T,W,Y					M,O, Q, R,S, W,X
E7							
E6	A,B,D,F, H,J,K,L*,M, P,Q,R,S, T,W,X,Y		A,B,D,E,F, H,J,K,L*,M, P,Q,R,S, T,W,X,Y				
E8	A,B,F, H,J,K,L*,M, P,Q,R,S, T,W,X,Y		A,B,E,F, H,J,K,L*,M, P,Q,R,S, T,W,X,Y	B,C,E,F, K, L*	C,E,F, K,Q		

Fig. 4.6 Shema delle verifiche. [Fonte: DM 26/6/15, elaborazione ANIT].

Così facendo si ottiene l’elenco completo delle prescrizioni da rispettare, le quali sono consultabili alla tabella completa “Elenco delle verifiche” (Allegato I del DM 26/06/15).

Per affrontare le verifiche riportate alla lettera A di cui all’All.1 Art. 3.3 comma 2b.iii e comma 3, App. A, che riguardano:

- $EP_{H,nd} < EP_{H,nd,limite}$,
- $EP_{C,nd} < EP_{C,nd,limite}$,
- $EP_{gl,tot} < EP_{gl,tot,limite}$.

i valori limite sono calcolati attraverso l’analisi dell’“edificio di riferimento”, ovvero un edificio identico a quello in esame in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione, destinazione d’uso e situazione al contorno, e caratterizzato da parametri termici ed energetici predeterminati, secondo l’Appendice A dell’Allegato 1 del DM 26/6/15 (di seguito riportate le tabelle).

Per tutti i dati di input e i parametri non già definiti si fa riferimento ai valori dell’edificio reale.

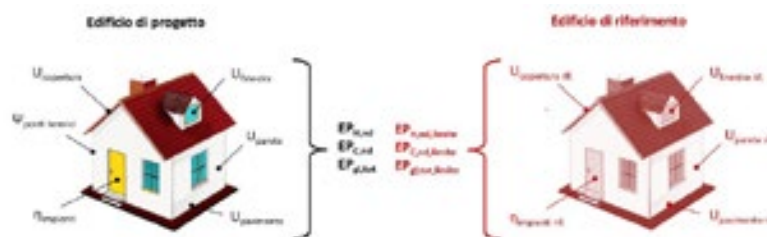


Fig. 4.7 Edificio di riferimento. [Fonte: Guida Nazionale ANIT].

Le seguenti tabelle riportano i valori delle trasmittanze di riferimento delle strutture (comprehensive anche del ponte termico), per il calcolo degli indici di prestazione energetica limite, separate in base alla data di entrata in vigore.

TABELLA 1 (Appendice A) Trasmittanza termica U di riferimento delle strutture opache verticali , verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra		
Zona climatica	U _{rif} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

TABELLA 2 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura , verso l'esterno e gli ambienti non riscaldati		
Zona climatica	U _{rif} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

TABELLA 3 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento , verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra		
Zona climatica	U _{rif} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,46	0,44
C	0,40	0,38
D	0,32	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

TABELLA 4 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e ambienti non riscaldati		
Zona climatica	U _{rif} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	3,20	3,00
C	2,40	2,20
D	2,00	1,80
E	1,80	1,40
F	1,50	1,10

TABELLA 5 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti		
Zona climatica	U _{rif} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
Tutte	0,8	0,8

TABELLA 6 (Appendice A) Valore del fattore di trasmissione solare totale g _{gl+sh} per componenti finestrati con orientamento da Est a Ovest passando per Sud		
Zona climatica	g _{gl+sh} [-]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
Tutte	0,35	0,35

Fig. 4.8 Parametri involucro. [Fonte: DM 26/6/15, elaborazione ANIT].

TABELLA 8 (Appendice A) Efficienze medie η_{gn} dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento per la produzione di energia termica per i servizi di H, C, W e per la produzione di energia elettrica in situ.				
Sottosistemi di generazione:	Produzione di energ. termica			Produzione di energia elettrica in situ
	H	C	W	
Generatore a combustibile liquido	0,82	-	0,80	-
Generatore a combustibile gassoso	0,95	-	0,85	-
Generatore a combustibile solido	0,72	-	0,70	-
Generatore a biomassa solida	0,72	-	0,65	-
Generatore a biomassa liquida	0,82	-	0,75	-
Pompa di calore a compressione di vapore con motore elettrico	3,00	(*)	2,50	-
Macchina frigorifera a compressione di vapore a motore elettrico	-	2,50	-	-
Pompa di calore ad assorbimento	1,20	(*)	1,10	-
Macchina frigorifera a fiamma indiretta	-	$0,60 \times \eta_{gn}$ (**)	-	-
Macchina frigorifera a fiamma diretta	-	0,60	-	-
Pompa di calore a compressione di vapore a motore endotermico	1,15	-	1,05	-
Cogeneratore	0,60	-	0,60	0,20
Riscaldamento con resistenza elettrica	1,00	-	-	-
Teleriscaldamento	0,97	-	-	-
Teleraffrescamento	-	0,97	-	-
Solare termico	0,3	-	0,3	-
Solare fotovoltaico	-	-	-	0,1
Mini eolico e mini idroelettrico	-	-	-	(**)

Nota: Per i combustibili tutti i dati fanno riferimento al potere calorifico inferiore
 (*) Per pompe di calore che prevedono la funzione di raffrescamento si considera lo stesso valore delle macchine frigorifere della stessa tipologia
 (**) Si assume l'efficienza media del sistema installato nell'edificio reale

TABELLA 9 (Appendice A) Fabbisogno di energia elettrica specifico per m ³ di aria movimentata	
Tipologia di impianto	E_{ve} [Wh/m ³]
Ventilazione meccanica a semplice flusso per estrazione	0,25
Ventilazione meccanica a semplice flusso per immissione con filtrazione	0,30
Ventilazione meccanica a doppio flusso senza recupero	0,35
Ventilazione meccanica a doppio flusso con recupero	0,50

UTA: rispetto dei regolamenti di settore emanati dalla Commissione Europea in attuazione delle direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, assumendo la portata e la prevalenza dell'edificio reale.

Fig. 4.9 Parametri impianto. [Fonte: DM 26/6/15, elaborazione ANIT].

Ulteriori parametri sono soggetti a verifica, a seconda dell'intervento e delle caratteristiche dell'edificio. Tra questi i principali sono:

- Coefficiente medio globale di scambio termico:

$$H'_T = \frac{H_{tr,adj}}{\sum_K A_K} [W/m^2 K]$$

In cui $H_{tr,adj}$ [W/K] è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione

dell'involucro (da UNI/TS 11300-1) e $A_k [m^2]$ è la superficie del k-esimo componente (opaco o trasparente) costituente l'involucro.

Il valore di H^*T deve essere minore del valore massimo ammissibile riportato alla Tabella 10, in funzione della zona climatica e del rapporto S/V.

TABELLA 10 (Appendice A) Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico H^*T [W/m^2K]						
N. riga	RAPPORTO DI FORMA (S/V)	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
1	$S/V \geq 0,7$	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48
2	$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53
3	$0,4 > S/V$	0,80	0,80	0,80	0,75	0,70

N. riga	TIPOLOGIA DI INTERVENTO	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
4	Ampliamenti e Ristrutturazioni importanti di secondo livello per tutte le tipologie edilizie	0,73	0,70	0,68	0,65	0,62

Fig. 4.10 Tabella coefficiente globale di scambio termico H^*T . [Fonte DM 26/6/15, elaborazione ANIT].

- Trasmittanze termiche per edifici esistenti:

$$U = \frac{1}{R_{tot}} [W/m^2K]$$

È la trasmittanza termica delle strutture opache verticali, delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, delle strutture opache orizzontali di pavimento, delle chiusure tecniche trasparenti o opache. I limiti previsti sono riportati nell'Appendice B (Tabelle da 1 a 5).

TABELLA 1 (Appendice B) Trasmittanza termica U massima delle <u>strutture opache verticali</u> , verso l'esterno soggette a riqualificazione			
Zona climatica	U _{limite} [W/m^2K]		
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2021	
A-B	0,45	0,40	
C	0,40	0,36	
D	0,36	0,32	
E	0,30	0,28	
F	0,28	0,26	

TABELLA 2 (Appendice B) Trasmittanza termica U massima delle strutture opache orizzontali e inclinate di copertura, verso l'esterno soggette a riqualificazione			
Zona climatica	U _{limite} [W/m^2K]		
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2021	
A-B	0,34	0,32	
C	0,34	0,32	
D	0,28	0,26	
E	0,26	0,24	
F	0,24	0,22	

TABELLA 3 (Appendice B) Trasmittanza termica U massima delle strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno soggette a riqualificazione			
Zona climatica	U _{limite} [W/m^2K]		
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2021	
A-B	0,48	0,42	
C	0,42	0,38	
D	0,36	0,32	
E	0,31	0,29	
F	0,30	0,28	

TABELLA 4 (Appendice B) Trasmittanza termica U massima delle <u>chiusure tecniche trasparenti</u> e opache e dei cassonetti (*), comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati, soggette a riqualificazione			
Zona climatica	U _{limite} [W/m^2K]		
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2021	
A-B	3,20	3,00	
C	2,90	2,00	
D	2,30	1,80	
E	1,90	1,40	
F	1,70	1,00	

TABELLA 5 (Appendice B) Valore del <u>fattore di trasmissione solare totale</u> g_{tot} per componenti finestrate con orientamento da Est a Ovest passando per Sud, in presenza di una schermatura mobile			
Zona climatica	g_{tot} [-]		
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2021	
Tutte	0,35	0,35	

(*): I cassonetti sono valutati solo nel caso si intervenga sul cassonetto e comunque separatamente rispetto alle strutture trasparenti (FAQ 2.53)

Fig. 4.11 Tabella trasmittanza termica U. [Fonte DM 26/6/15, elaborazione ANIT].

- Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile:

$$\frac{A_{sol,est}}{A_{sup,utile}} [-]$$

In cui $A_{sup,utile}$ è l'area della superficie utile dell'edificio [m^2] e $A_{sol,est}$ è l'area solare equivalente estiva dell'edificio [m^2] calcolata come sommatoria delle aree equivalenti estive di ogni componente vetrato k , ovvero:

$$A_{sol,est} = \sum_K F_{sh,ob} \cdot g_{gl+sh} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \cdot F_{sol,est} [m^2]$$

In cui:

- $F_{sh,ob}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k -esima, riferito al mese di luglio;
- g_{gl+sh} è la trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata;
- F_F è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;
- $A_{w,p}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra);
- $F_{sol,est}$ è il fattore di correzione per l'irraggiamento incidente, calcolato come rapporto tra l'irradianza media nel mese di luglio, nella località e sull'esposizione considerata, e l'irradianza media annuale di Roma, sul piano orizzontale.

Il valore $A_{sol,est}/A_{sup,utile}$, come riportato nella Tabella 11 Appendice A, deve risultare inferiore 0,030 per gli edifici di categoria E1 (ad eccezione di collegi, conventi, case di pena, caserme e della categoria E.1(3)) e inferiore a 0,040 per tutti gli altri edifici.

- Inerzia dell'involucro opaco:
 - per le strutture opache verticali (ad eccezione di quelle nel quadrante Nord-Ovest/Nord/Nord-Est) almeno una delle seguenti condizioni deve essere rispettata:

$$M_s > 230 \text{ kg/m}^2$$

$$Y_{IE} < 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- per le strutture opache orizzontali e inclinate:

$$Y_{IE} < 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$$

M_s rappresenta la massa superficiale della parete opaca compresa la malta dei giunti ed esclusi gli intonaci.

Y_{IE} rappresenta la trasmittanza termica periodica, valutata in accordo con UNI EN

ISO 13786:2008 e successivi aggiornamenti.

- Efficienza media stagionale degli impianti:

$$\eta_H, \eta_W, \eta_C [-]$$

Sono rispettivamente l'efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale, dell'impianto di produzione di ACS e dell'impianto di climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità).

I valori limite corrispondono alle efficienze indicate per l'edificio di riferimento per il quale i parametri energetici e le caratteristiche termiche sono dati nelle Tabelle 7 e 8 dell'Appendice A.

Inoltre, il D.M. 26/6/15 include la definizione di “*edifici a energia quasi zero*” (nZEB) come tutti gli edifici, di nuova costruzione o esistenti, per cui sono contemporaneamente rispettati tutti i requisiti di seguito citati, verificati secondo i limiti vigenti (dal 1/01/2019 per gli edifici pubblici e dal 1/01/2021 per tutti gli altri edifici):

- $H'T$;
- $A_{sol, est} / A_{sup, utile}$;
- $EPH, nd, EPC, nd, EP_{gl, tot}$;
- η_H, η_W, η_C .

Per rientrare nella definizione di NZEB devono anche essere soddisfatti gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili, i cui requisiti minimi sono consultabili all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del D.lgs. 28/11 (modificato dal D.lgs. 199/21).

La quota di energia derivata da fonti rinnovabili deve essere valutata:

- per l'intero edificio, nel caso in cui i singoli servizi energetici siano soddisfatti esclusivamente da impianti a servizio di tutte le unità immobiliari;
- per singola unità immobiliare, nel caso in cui i singoli servizi energetici siano soddisfatti solo o anche da impianti a servizio esclusivamente di singole unità immobiliari.

4.3.1 Modifiche previste nel 2025 con il D.M. 28/10/25

Dopo dieci anni dalla pubblicazione del Decreto Requisiti Minimi, è stato svolto un lavoro di aggiornamento al fine di renderlo più efficace, facilmente applicabile e coerente al contesto tecnico e normativo attuale. Gli obiettivi principali della revisione erano quelli di recepire le più recenti direttive europee, inserire chiarimenti tecnici e rendere le verifiche più accessibili.

Il D.M. 28/10/2025 presenta modifiche che riguardano il contesto tecnico di riferimento, senza introdurre nuove prescrizioni obbligatorie, tramite l'aggiornamento delle norme UNI che descrivono le metodologie di calcolo. Esso prevede verifiche più stringenti sui ponti termici, che devono essere caratterizzati da lunghezze corrispondenti a quelle dell'edificio reale e inclusi nell'edificio di riferimento. Viene introdotta la Tabella 5-bis dell'Allegato A, che specifica i coefficienti lineici di trasmissione termica (ψ) per i ponti termici più ricorrenti.

Le novità principali, che entreranno in vigore 180 giorni dopo la pubblicazione, ovvero il 3/06/2026, riguardano:

- l'aggiornamento delle norme tecniche di riferimento per il calcolo della prestazione energetica, in particolare di UNI/TS 11300-5, UNI/TS 11300-6 e UNI EN 15193 per illuminazione;
- l'introduzione dei ponti termici nell'edificio di riferimento;

TABELLA 5 bis (Appendice A)										
Trasmittanze termiche lineiche relative alle dimensioni interne (Ψ_{int}) e alle dimensioni esterne (Ψ_{ext})										
Zona climatica	Ψ_{int} [W/mK]					Ψ_{ext} [W/mK]				
	A+B	C	D	E	F	A+B	C	D	E	F
Tipologia di ponte termico										
Aggancio balcone	0,57	0,46	0,44	0,40	0,39	0,39	0,32	0,32	0,29	0,29
Davanzale serramento	0,10	0,09	0,10	0,10	0,11	0,10	0,09	0,10	0,10	0,11
Spella serramento	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08
Architrave serramento	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Cassonetto serramento	0,28	0,25	0,21	0,22	0,23	0,28	0,25	0,21	0,22	0,23

Fig. 4.12 Parametri ponti termici. [Fonte: DM 28/10/25, elaborazione ANIT].

- la revisione delle verifiche e dei valori limite relativi al coefficiente globale di scambio termico per trasmissione ($H'T$). La modifica rende più semplice la verifica per gli involucri ampiamente vetriati, eliminando la verifica del parametro per le ristrutturazioni di secondo livello;

TABELLA 11 (Appendice A)
Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico H'_{T} [W/m²K] per le ristrutturazioni importanti di primo livello

Zona climatica	H'_{T} [W/m ² K]									
	Rapporto EX ANTE tra la superficie dei componenti vetriati e la superficie di tutti i componenti (vetriati e/o opachi) dell'edificio oggetto di intervento									
	≤ 9%	≤ 14%	≤ 19%	≤ 24%	≤ 28%	≤ 33%	≤ 38%	≤ 43%	≤ 47%	≤ 52%
A e B	0,72	0,82	0,92	1,01	1,1	1,18	1,26	1,34	1,41	1,47
C	0,6	0,64	0,71	0,78	0,85	0,91	0,97	1,03	1,08	1,14
D	0,58	0,58	0,58	0,65	0,7	0,75	0,81	0,86	0,9	0,95
E	0,55	0,55	0,55	0,55	0,58	0,62	0,66	0,7	0,74	0,78
F	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,56	0,6	0,63	0,66
	≤ 57%	≤ 62%	≤ 67%	≤ 71%	≤ 76%	≤ 81%	≤ 86%	≤ 90%	≤ 95%	≤ 100%
A e B	1,53	1,59	1,64	1,68	1,72	1,76	1,79	1,82	1,84	1,86
C	1,18	1,23	1,27	1,31	1,35	1,38	1,42	1,44	1,47	1,49
D	0,99	1,03	1,07	1,11	1,14	1,18	1,21	1,24	1,26	1,29
E	0,82	0,85	0,88	0,92	0,95	0,99	1,02	1,04	1,07	1,1
F	0,66	0,72	0,75	0,79	0,82	0,85	0,87	0,9	0,93	0,96

Fig. 4.13 Tabella coefficiente globale di scambio termico H'_{T} aggiornata. [Fonte: DM 28/10/25, elaborazione ANIT].

- le modifiche alle verifiche di trasmittanza per le ristrutturazioni importanti di secondo livello e le riqualificazioni energetiche:
 - per le ristrutturazioni di secondo livello, cambia il valore limite e viene introdotta una distinzione in base alla posizione dell'isolante (interno, esterno o intermedio);
 - si introduce il concetto di trasmittanza in sezione corrente, che permette di semplificare il calcolo nei casi di riqualificazione energetica;
 - nei nuovi calcoli si tiene conto della trasmittanza media delle sole superfici interessate dall'intervento, escludendo i ponti termici, rendendo così la verifica più semplice e realistica.

<p>TABELLA 1 (Appendice B) Trasmittanza termica U limite massima delle strutture opache verticali, verso l'esterno soggette a riqualificazione</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona climatica</th> <th>U_{limite} [W/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A-B</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0,36</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0,28</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>0,26</td> </tr> </tbody> </table>	Zona climatica	U_{limite} [W/m ² K]	A-B	0,40	C	0,36	D	0,32	E	0,28	F	0,26	<p>TABELLA 2 (Appendice B) Trasmittanza termica U limite delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno soggette a riqualificazione</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona climatica</th> <th>U_{limite} [W/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A-B</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0,26</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0,24</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>0,22</td> </tr> </tbody> </table>	Zona climatica	U_{limite} [W/m ² K]	A-B	0,32	C	0,32	D	0,26	E	0,24	F	0,22
Zona climatica	U_{limite} [W/m ² K]																								
A-B	0,40																								
C	0,36																								
D	0,32																								
E	0,28																								
F	0,26																								
Zona climatica	U_{limite} [W/m ² K]																								
A-B	0,32																								
C	0,32																								
D	0,26																								
E	0,24																								
F	0,22																								
<p>TABELLA 3 (Appendice B) Trasmittanza termica U limite delle strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno soggette a riqualificazione</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona climatica</th> <th>U_{limite} [W/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A-B</td> <td>0,42</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0,38</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>0,28</td> </tr> </tbody> </table>	Zona climatica	U_{limite} [W/m ² K]	A-B	0,42	C	0,38	D	0,32	E	0,29	F	0,28	<p>TABELLA 4 (Appendice B) Trasmittanza termica U limite delle chiusure tecniche (trasparenti) e opache e dei cassonetti (*), compresi dagli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climaticizzati, soggette a riqualificazione</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona climatica</th> <th>U_{limite} [W/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A-B</td> <td>3,00</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>2,00</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>1,60</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>1,40</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table>	Zona climatica	U_{limite} [W/m ² K]	A-B	3,00	C	2,00	D	1,60	E	1,40	F	1,00
Zona climatica	U_{limite} [W/m ² K]																								
A-B	0,42																								
C	0,38																								
D	0,32																								
E	0,29																								
F	0,28																								
Zona climatica	U_{limite} [W/m ² K]																								
A-B	3,00																								
C	2,00																								
D	1,60																								
E	1,40																								
F	1,00																								
<p>TABELLA 5 (Appendice B) Valore del fattore di trasmissione solare totale g_{tot} per componenti finestrali con orientamento da Est a Ovest passando per Sud, in presenza di una schermatura mobile</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona climatica</th> <th>g_{tot} [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tutte</td> <td>0,35</td> </tr> </tbody> </table>	Zona climatica	g_{tot} [-]	Tutte	0,35	<p>(*) I cassonetti sono valutati solo nel caso si intervenga sul cassonetto e comunque separatamente rispetto alle strutture trasparenti (FAQ 2.53)</p>																				
Zona climatica	g_{tot} [-]																								
Tutte	0,35																								

Fig. 4.14 Tabella trasmittanza termica U aggiornata. [Fonte DM 26/6/15, elaborazione ANIT].

- l'indicazione dell'utilizzo delle superfici lorde come base di calcolo, su cui il legislatore non si era ancora mai espresso a favore o contro;
- l'introduzione del metodo Carnot per il calcolo dei coefficienti di conversione in energia primaria in caso di presenza di sistemi cogenerativi (teleriscaldamento);
- l'aggiornamento nei requisiti minimi di prescrizioni su benessere ambientale e sicurezza in linea con le nuove norme europee;
- l'obbligo di sistemi di automazione e controllo con classe minima B in edifici non residenziali anche in caso di ristrutturazioni di secondo livello e riqualificazioni;
- introduzione di prescrizioni e requisiti minimi dettagliati per l'installazione di infrastrutture di ricarica e di canalizzazione per veicoli elettrici negli edifici dotati di posti auto. Viene previsto un calendario progressivo per l'applicazione di suddetti obblighi agli edifici esistenti non residenziali non soggetti a ristrutturazione.

4.4 Certificazione energetica: Attestato di Prestazione Energetica

La certificazione energetica degli edifici è uno strumento presentato dalla Direttiva 2002/91/CE (EPBD I) e disciplinato dal D.lgs. 192/05 al fine di rendere il parametro dell'efficienza energetica un nuovo valore del mercato edilizio e per sensibilizzare gli utenti finali e tutte le figure coinvolte nel processo edilizio riguardo alle problematiche energetiche e ambientali. Tale strumento è stato poi revisionato dalla Direttiva 31/2010/UE (EPBD II Recast) con i suoi decreti di recepimento e attuativi, ad oggi D.M. 26/6/1 (presto aggiornato dal D.M. 28/10/25). Il decreto ministeriale contiene le Linee guida nazionali per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici e riporta i metodi di classificazione e i nuovi modelli di attestato.

L'APE, o più semplicemente "certificato energetico", è il documento ufficiale che attesta la prestazione energetica di un edificio o di una singola unità immobiliare, al fine di comunicare una valutazione oggettiva dei consumi energetici, garantire la conformità agli obblighi e alle verifiche di legge e guidare l'utente finale nella scelta di possibili interventi di riqualificazione. L'APE ha una validità massima di dieci anni, a condizione che vengano effettuate le manutenzioni obbligatorie previste sugli impianti e l'immobile non sia soggetto a interventi che ne modifichino le prestazioni energetiche.

Da ottobre 2015 l'APE ha un formato standard valido su tutto il territorio nazionale. Le prime due pagine del documento contengono le informazioni essenziali per il cittadino, comprese le raccomandazioni e i relativi risultati attesi.

I dati contenuti nell'attestato che descrivono in maniera esaustiva il profilo energetico dell'edificio sono:

- gli indicatori di prestazione energetica, tra cui l' $EP_{gl,nren}$ (energia primaria globale non rinnovabile relativa a tutti i servizi erogati dai sistemi tecnici presenti), l' $EP_{gl,ren}$ (energia primaria globale rinnovabile) e l' $EP_{gl,tot}$ (energia primaria globale totale);
- attraverso l'indice $EP_{gl,nren}$ [kWh/m²anno] viene determinata la classe energetica.

L'elenco delle classi è una scala alfabetica che va da A4, la più efficiente, a G, la meno performante.



Fig. 4.15 Tabella classi. [Fonte: DM 26/06/15, elaborazione ANIT].

- l'indice qualitativo del fabbisogno di energia necessario per il soddisfacimento del comfort termico interno, indipendentemente dalla tipologia e dal rendimento degli impianti presenti. Tale indice comunica come l'edificio, d'estate e d'inverno, isola termicamente gli ambienti interni rispetto all'esterno. La scala di valutazione è costituita da tre emoticon che rappresentano qualità alta, qualità media e qualità bassa;

TABELLA 3 (LGN15)
Indicatore della prestazione energetica invernale dell'involucro, al netto dell'efficienza degli impianti presenti

Prestazione invernale dell'involucro	Qualità	Indicatore
$EP_{H,nd} \leq 1 * EP_{H,nd,L(2019/21)}$	alta	☺
$1 * EP_{H,nd,L(2019/21)} < EP_{H,nd} \leq 1,7 * EP_{H,nd,L(2019/21)}$	media	☹
$EP_{H,nd} > 1,7 * EP_{H,nd,L(2019/21)}$	bassa	☹

Fig. 4.16 Tabella prestazione invernale. [Fonte: DM 26/06/15, elaborazione ANIT].

TABELLA 4 (LGN15)
Indicatore della prestazione energetica estiva dell'involucro, al netto dell'efficienza degli impianti presenti

Prestazione estiva dell'involucro		Qualità	Indicatore
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} \leq 0,03$	$Y_{IE} \leq 0,14$	alta	☺
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} \leq 0,03$	$Y_{IE} > 0,14$	media	☹
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} > 0,03$	$Y_{IE} \leq 0,14$		
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} > 0,03$	$Y_{IE} > 0,14$	bassa	☹

Fig. 4.17 Tabella prestazione estiva. [Fonte: DM 26/06/15, elaborazione ANIT].

- l'eventuale segnalazione che l'edificio in oggetto soddisfi i requisiti per essere definito "edificio a energia quasi zero", tramite una spunta sull'apposito spazio adiacente alla scala di classificazione;
- confronto con l'indice di prestazione globale non rinnovabile di un edificio analogo, ma dotato dei requisiti minimi degli edifici nuovi, nonché con la media degli indici di prestazione degli edifici esistenti simili, ovvero caratterizzati da stessa tipologia d'uso, tipologia costruttiva, zona climatica, dimensioni ed esposizione di quello oggetto dell'attestato;
- le emissioni annuali di CO₂;
- la qualità energetica del fabbricato attraverso gli indici di prestazione energetica: la sezione riporta una stima del quantitativo di energia consumata annualmente dall'immobile per un uso standard, suddivisi per tipologia di vettore energetico.
- le raccomandazioni per il miglioramento delle prestazioni energetiche, corredate da una stima dei tempi di ritorno economico degli interventi suggeriti. Gli interventi suggeriti non sono obbligatori, ma rappresentano uno strumento strategico per chi prevede una riqualificazione o intende usufruire di detrazioni fiscali;
- l'elenco dei servizi energetici presenti con le rispettive efficienze;
- la quantità di energia prodotta in situ ed esportata annualmente.

L'Attestato di Prestazione Energetica è necessario ogni volta che un immobile viene immesso sul mercato, sia in vendita che in affitto. L'obbligo deriva dall'articolo 6 del D.lgs. 192/2005, che impone al proprietario di disporre il documento già nella fase di trattativa e di consegnarlo al momento della stipula del contratto. Tutti i casi in cui è obbligatoria la sua redazione, o l'aggiornamento del documento qualora fosse già esistente, sono:

- per gli edifici o le singole unità immobiliari di nuova costruzione;
- per gli edifici soggetti a demolizione e ricostruzione;
- per gli edifici oggetto di ristrutturazione pesante (si intendono edifici le cui opere di ristrutturazione sono di grande entità, coinvolgendo almeno il 50% dell'involucro edilizio della casa o gli impianti) o che subiscono interventi in grado di modificarne in modo significativo le prestazioni energetiche (anche la sostituzione degli infissi con elementi più performanti richiede l'aggiornamento del documento, nonché gli interventi sugli impianti termici, dalla sostituzione del generatore al miglioramento dei sistemi di distribuzione o regolazione). La certificazione energetica accompagna l'attestato di agibilità dell'immobile;
- per i nuovi volumi climatizzati in ampliamento di edifici esistenti, per un minimo del 15% del volume iniziale o di almeno 500 m³ (in quest'ultimo caso, il rispetto dei requisiti minimi dei nuovi edifici è obbligatorio solo in relazione ai nuovi volumi);
- nel caso di compravendita di un immobile. La certificazione energetica deve essere inserita insieme all'atto di vendita per la fruizione di chi acquista l'immobile. È il

venditore che si prende carico del pagamento della certificazione, salvo accordi presi diversamente;

- nel caso di locazione di un immobile, per la fruizione dell'affittuario. Anche in questa situazione è il proprietario a farsi carico del pagamento e a provvedere ad aggiungere il documento al contratto di affitto;
- nel caso di edificio pubblico (sono inclusi qui gli immobili con superficie utile maggiore di 250 m²) utilizzati da pubbliche amministrazioni e aperti al pubblico;
- nel caso di trasferimento o donazione di immobili;
- per l'accesso alle agevolazioni edilizie, in alcuni casi.

In generale, ogni intervento di riqualificazione che comporti una variazione degli indici EP_{gl} richiede la redazione di un nuovo APE, in modo da riflettere sempre con accuratezza il comportamento energetico effettivo dell'immobile.

Le sanzioni previste dalla normativa (art. 15, d.lgs. 192/2005) hanno lo scopo di garantire trasparenza nel mercato immobiliare e tutelare gli acquirenti e i conduttori, assicurando che ogni operazione avvenga con informazioni complete e verificabili sulle prestazioni energetiche dell'edificio.

L'assenza dell'APE, infatti, quale strumento informativo obbligatorio, comprometterebbe la validità dell'intero processo negoziale. Perciò, sulla base dell'art. 15 del D.lgs. 192/2005, la mancata dotazione dell'APE prevede una serie di sanzioni amministrative:

- da 3.000 a 18.000 euro per mancata dotazione in caso di compravendita;
- da 1.000 a 4.000 euro in caso di locazioni (il contratto rimane valido, ma la sanzione è applicata ugualmente);
- fino a 10.000 euro per asseverazioni non veritiere da parte del tecnico.

L'Attestato può essere redatto solo da professionisti accreditati secondo il DPR 75/13.

Una volta ultimata la compilazione, il soggetto certificatore deve sottoscrivere l'APE, trasmetterlo alla Regione o Provincia autonoma competente e consegnarlo al richiedente entro i quindici giorni successivi. Le Regioni e le Province autonome archiviano gli APE nel proprio catasto e trasmettono le informazioni raccolte al Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica ("SIAPE") gestito da ENEA.

Il DPR 75/13 prevede due possibilità per l'abilitazione del Soggetto Certificatore, che prevedono a loro volta, a seconda del caso, l'obbligo o meno di partecipazione a un corso di formazione con superamento dell'esame finale.

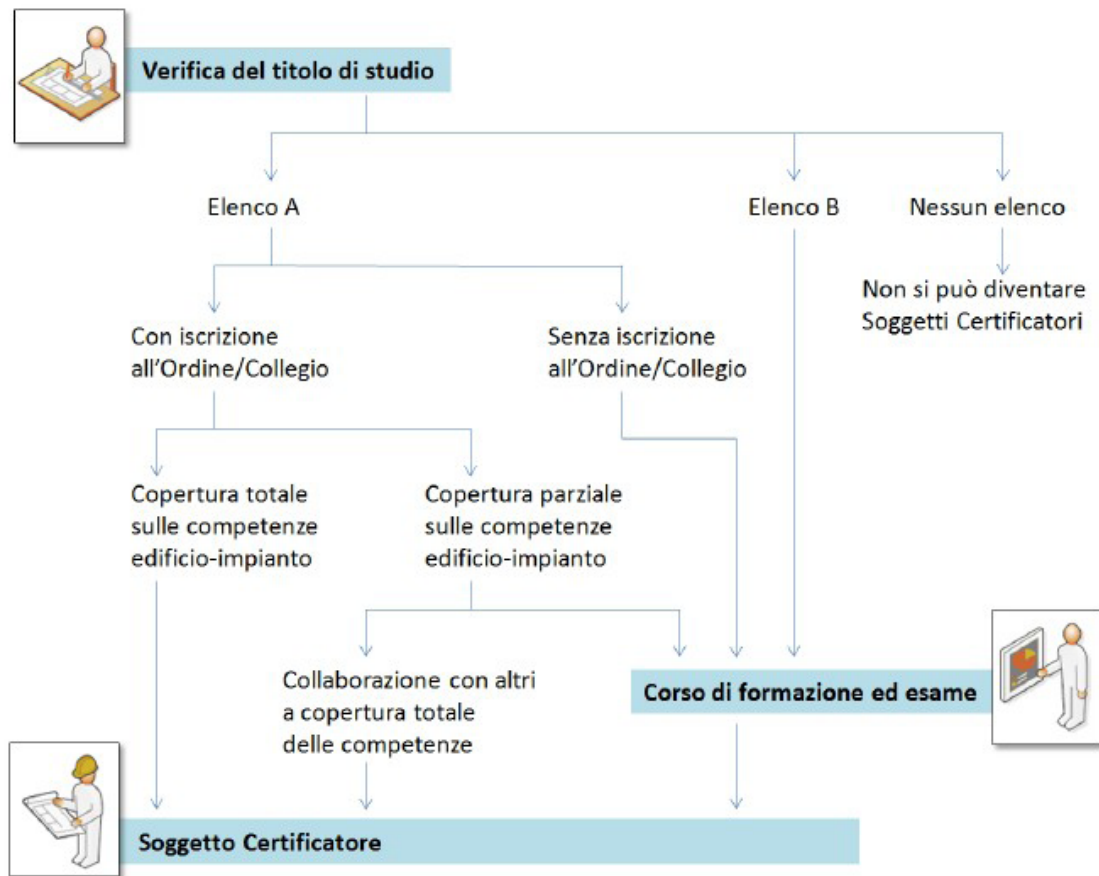


Fig. 4.18 Schema certificatori. [Fonte: DPR 75/13, elaborazione ANIT].

4.4.1 Modifiche previste secondo EPBD IV “Case Green”

La Direttiva EPBD IV, denominata anche “Direttiva Case Green”, approvata dal Parlamento Europeo e attualmente in fase di recepimento nazionale, propone una revisione dell’attestato di prestazione energetica con l’obiettivo di introdurre il nuovo modello di APE entro il 31 dicembre 2025.

Tra le proposte di modifica, consultabili nell’art. 16 dalla direttiva, si segnalano:

- Nuovi indicatori di cui l’APE sarà dotato:
 - indicatore numerico del consumo di energia primaria e finale espresso in kWh/m²anno;
 - indicatore numerico delle emissioni di gas a effetto serra del ciclo di vita espresso in kgCO_{2eq}/m²anno;
 - valori di riferimento, quali i requisiti minimi e i requisiti degli edifici a energia

quasi zero, per consentire ai proprietari o locatari dell'edificio o dell'unità immobiliare di valutare e confrontare la prestazione energetica dell'immobile.

- Ulteriori informazioni e indicatori che l'APE includerà:
 - il consumo complessivo di energia annuo [kWh/anno];
 - il fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione e l'acqua calda sanitaria [kWh/m²anno];
 - l'uso di energia primaria non rinnovabile annuo [kWh/m²anno];
 - l'energia finale per il riscaldamento, il raffrescamento, la produzione di acqua calda sanitaria per uso domestico, la ventilazione, l'illuminazione integrata;
 - eventuali ulteriori requisiti in termini di efficienza e sicurezza per le apparecchiature.
- Nuovo modello di APE: l'allegato V presenta uno schema con le informazioni minime da riportare nel nuovo attestato di prestazione energetica.
- Nuova classificazione energetica basata sui seguenti criteri:
 - scala chiusa che usa solo le lettere da A alla G;
 - la classe G corrisponde al 15% degli edifici con le prestazioni peggiori del parco immobiliare nazionale al momento dell'introduzione della scala;
 - la classe B corrisponde agli edifici a emissioni zero di cui all'articolo 2, punto 2, ovvero: "edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente agli allegati I e III, che contribuisce all'ottimizzazione del sistema energetico attraverso la flessibilità della domanda, nel quale qualsiasi fabbisogno residuo molto basso di energia è interamente coperto da: fonti rinnovabili generate o stoccate in loco, fonti rinnovabili generate nelle vicinanze, una comunità di energia rinnovabile, energia rinnovabile e calore di scarto provenienti da un sistema efficiente di teleriscaldamento e teleraffrescamento".
 - distribuzione uniforme della larghezza di banda degli indicatori tra le classi di prestazione energetica dalla A alla F;
 - eventualmente è possibile aggiungere la Classe A+ per edifici con super prestazioni:
 - fabbisogno di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, ACS inferiore a 15 kWh/m² anno;
 - produzione in loco di fonti rinnovabili superiore ai consumi medi mensili;
 - positività carbonica in termini di GWP del ciclo di vita dell'edificio.

Inoltre, l'art. 9 prevede un percorso di miglioramento del parco immobiliare nazionale basato sulla nuova classificazione energetica, con l'eliminazione delle classi peggiori F e G nei prossimi dieci anni. È previsto che gli Stati garantiscano:

- per gli edifici pubblici una classe E minima dal 2027 e una classe D minima dal 2030;
- per gli edifici privati non residenziali una classe E minima dal 2027 e una classe D minima dal 2030;
- per gli edifici privati residenziali una classe E minima dal 2030 e una classe D minima dal 2033.

5. Efficientamento energetico degli edifici scolastici

5.1 Il patrimonio edilizio scolastico come ambito prioritario di intervento

Il patrimonio edilizio scolastico rappresenta uno dei settori più consistenti e strategici del parco immobiliare pubblico italiano, sia per la sua estensione e diffusione territoriale, sia per il ruolo educativo e sociale che esso svolge. Secondo i dati riportati da ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), in Italia vi sono oltre 43.000 edifici scolastici, distribuiti in maniera capillare sull'intero territorio nazionale e utilizzati quotidianamente da milioni di utenti, tra studenti, docenti e operatori scolastici.

Gli edifici scolastici, dal punto di vista del consumo energetico, rientrano una categoria particolarmente critica, in quanto caratterizzata da fabbisogni energetici piuttosto elevati e, allo stesso tempo, da prestazioni in media alquanto scadenti. Una delle principali cause si può individuare nell'epoca di costruzione: la maggior parte degli edifici scolastici italiani, infatti, è stata realizzata precedentemente al 1976, ovvero l'anno in cui entrò in vigore la prima normativa nazionale riguardo al contenimento dei consumi energetici (Legge n. 373/76). Sostanziale parte di tale patrimonio edilizio, di conseguenza, è stata realizzata in assenza di criteri di isolamento termico, gestione dei ponti termici e integrazione dei sistemi involucro-impianto, dimostrandosi oggi eccessivamente energivora. Il settore scolastico è effettivamente uno dei settori pubblici con il potenziale di risparmio energetico più elevato, proprio in virtù del considerevole scarto tra le prestazioni attuali e quelle raggiungibili attraverso interventi di riqualificazione.

In particolare, la Guida ENEA per l'efficienza energetica negli edifici scolastici evidenzia che, considerando contemporaneamente l'inefficienza dell'involucro e l'obsolescenza degli impianti termici e di illuminazione, oltre il 50% dell'energia attualmente utilizzata negli edifici scolastici potrebbe essere risparmiata tramite mirati interventi di efficientamento.

Il comparto scolastico rappresenta un ambito prioritario anche in termini di riduzione della spesa energetica. I costi di gestione legati al riscaldamento, alla climatizzazione estiva e all'illuminazione incidono in maniera significativa sui bilanci degli enti locali, specialmente nei contesti territoriali caratterizzati da edifici di grandi dimensioni e da un uso intensivo degli spazi. Gli interventi di riqualificazione energetica consentirebbero non solo una riduzione dei consumi di energia primaria, ma anche una maggiore stabilità dei costi di esercizio a lungo termine, aspetto centrale per la pianificazione economica nella Pubblica Amministrazione.

La rilevanza del settore scolastico, tuttavia, non è circoscritta al solo ambito quantitativo dei consumi. Esso riveste un ruolo informativo di rilievo nell'ambito delle politiche pubbliche

per la sostenibilità, in quanto luogo privilegiato per la diffusione della cultura dell'efficienza energetica, consentendo di combinare l'efficientamento delle prestazioni con i benefici diretti sul comfort termico interno, sulla qualità degli spazi per l'apprendimento e sulla sensibilizzazione degli studenti riguardo ai temi della sostenibilità.

Nel contesto regionale ligure, le criticità energetiche del parco edilizio scolastico si presentano talvolta accentuate da specifiche condizioni territoriali, morfologiche e climatiche. La Liguria è caratterizzata da uno stretto lembo costiero densamente urbanizzato e un entroterra collinare e montano, che ha storicamente influenzato le modalità di insediamento e di costruzione degli edifici. Dal punto di vista climatico, gran parte del territorio ligure ricade in zona climatica D, con un numero di gradi-giorno elevato ($1401 \leq GG \leq 2100$), che comporta rilevanti fabbisogni per la climatizzazione invernale, in particolare negli edifici scolastici costruiti precedentemente introduzione dei requisiti prestazionali dell'involucro. Dall'altra parte, le condizioni estive sono caratterizzate da umidità e temperatura elevate, rendendo sempre più impellente anche il tema del comfort interno estivo e del controllo dei carichi solari.

In tale contesto, gli interventi di efficientamento energetico assumono un duplice significato: da un lato la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni, dall'altro il miglioramento della qualità ambientale interna, di particolare importanza in ambienti ad uso didattico.

In considerazione di ciò, il patrimonio edilizio scolastico rappresenta un ambito privilegiato di applicazione delle politiche di efficientamento energetico, in grado di integrare obiettivi energetici, ambientali, economici e sociali. La riqualificazione energetica delle scuole non si riduce a un intervento di settore, è bensì un'azione strutturale nel panorama delle politiche energetiche, che interviene sulla qualità dell'edilizia pubblica, sulla sostenibilità e sul benessere collettivo.

5.1.1 Caratteristiche energetiche ricorrenti degli edifici scolastici esistenti

Gli edifici scolastici presentano caratteristiche tipiche che li rendono in genere poco performanti dal punto di vista delle prestazioni e dei consumi.

Ciò accade soprattutto nelle scuole costruite o oggetto di intervento nel secondo dopoguerra, spesso contraddistinte da profili energetici disomogenei, con zone dell'edificio caratterizzate da fabbisogni energetici molto differenti tra loro.

Nell'ambito dell'involucro, le problematiche principali riguardano:

- pareti opache caratterizzate da trasmittanze elevate (si tratta spesso di elementi realizzati in muratura piena non isolata);
- solai di copertura e solai controterra privi di strati isolanti;
- serramenti obsoleti (in genere a vetro singolo o doppio non performante, senza taglio termico, con elevate dispersioni e scarsa tenuta all'aria).

Queste criticità determinano consistenti perdite di calore nella stagione invernale e, al contempo, uno scarso controllo degli apporti solari e delle temperature interne nella stagione estiva. Invero, in assenza di interventi sull'involucro, anche la sostituzione di impianti con tecnologie più efficienti può risultare in parte inefficace, in quanto l'energia prodotta verrà in larga parte dispersa verso l'esterno.

In merito agli impianti, molte scuole utilizzano sistemi di climatizzazione invernale obsoleti, spesso con oltre 12-15 anni di vita utile, con bassi rendimenti di generazione, distribuzione e regolazione. Negli edifici scolastici la climatizzazione invernale costituisce la quota maggioritaria dei consumi, raggiungendo oltre il 60-70% del fabbisogno energetico complessivo, a seconda della zona climatica e delle caratteristiche costruttive dell'edificio. Inoltre, spesso i sistemi di regolazione ambientale e la gestione degli orari di funzionamento sono assenti o desueti, e quindi non efficienti, contribuendo ad aumentare ulteriormente i consumi energetici.

Un ulteriore elemento critico è rappresentato dagli impianti di illuminazione, che spesso utilizzano corpi illuminanti tradizionali ad alta potenza e privi di sistemi di monitoraggio e automazione. L'illuminazione e gli ausiliari elettrici partecipano a una quota significativa dei consumi energetici complessivi, soprattutto in relazione alla durata giornaliera di utilizzo degli ambienti scolastici.

In particolare, l'illuminazione può rappresentare fino a circa il 20-30% dei consumi elettrici complessivi, rendendo questo ambito particolarmente utile in termini di interventi sul piano costi-benefici.

Si evidenzia quindi come queste condizioni rendano il segmento scolastico uno dei settori della Pubblica Amministrazione con maggiore margine di miglioramento in termini di efficacia e di ritorno economico degli interventi. In particolare, l'intervento integrato sull'involucro, sugli impianti e sulla loro gestione coordinata, consente di ottenere riduzioni dei consumi di energia primaria superiori al 50% rispetto alla situazione ante-operam, soprattutto nei casi di riqualificazione di primo livello in edifici realizzati prima degli anni Settanta.

5.1.2 Diagnosi e definizione delle strategie

La riqualificazione energetica degli edifici scolastici necessita di un approccio ben strutturato, che consenta di identificare le criticità energetiche dell'edificio esistente e di definire strategie di intervento efficaci dal punto di vista tecnico, economico e gestionale. In questo contesto, la diagnosi energetica è lo strumento principale per orientare le scelte progettuali e per valutare oggettivamente il potenziale di miglioramento delle prestazioni energetiche dell'immobile.

Come visto nel precedente capitolo, la diagnosi energetica non rappresenta un mero adempimento formale, è bensì un processo conoscitivo esaustivo del sistema edificio-impianto, con lo scopo di comprendere l'effettivo comportamento energetico dell'immobile,

dei suoi consumi e delle sue dispersioni; è così possibile individuare le priorità di intervento e scegliere soluzioni specifiche ed efficaci.

Le fasi del procedimento di diagnosi energetica sono generalmente:

- la raccolta dei dati geometrici, costruttivi e impiantistici dell'edificio;
- l'analisi dei consumi storici di energia termica ed elettrica;
- la valutazione delle condizioni di utilizzo e di gestione dell'edificio;
- l'elaborazione di modelli di calcolo in grado di simulare il comportamento energetico ante e post-intervento.

Nel caso degli edifici scolastici, è necessario considerare con particolare attenzione le modalità di utilizzo reale degli spazi, caratterizzate da orari di occupazione discontinui, variazioni stagionali e differenze significative tra spazi didattici, ambienti comuni e palestre.

Accanto agli aspetti puramente energetici, l'individuazione delle strategie di intervento deve tenere conto anche di vincoli economici: risulta particolarmente rilevante per gli enti locali, spesso chiamati a operare in condizioni di risorse finanziarie limitate, valutare il costo globale degli interventi lungo il ciclo di vita dell'edificio, considerando non solo l'investimento iniziale, ma anche i costi di gestione, manutenzione e sostituzione delle componenti.

La definizione delle strategie di riqualificazione deve inoltre confrontarsi con la necessità di garantire la continuità delle attività didattiche, limitando l'impatto degli interventi sulla fruibilità degli spazi. In questo contesto la programmazione per fasi e la scelta di interventi compatibili con i periodi di chiusura scolastica rappresentino elementi centrali per la buona riuscita delle opere di efficientamento.

5.2 Interventi di efficientamento sull'involucro edilizio

Gli interventi sull'involucro rappresentano una delle strategie più efficaci al fine della riduzione dei consumi energetici, specialmente se integrati in un approccio coordinato con il miglioramento degli impianti.

Come citato in precedenza, l'involucro edilizio costituisce l'elemento di divisione tra ambiente interno ed esterno e incide in maniera determinante sui fabbisogni energetici per la climatizzazione invernale ed estiva; tuttavia, negli edifici scolastici esistenti le prestazioni dell'involucro risultano generalmente scarse, a causa dell'assenza o dell'inadeguatezza dell'isolamento termico, della presenza di ponti termici diffusi e dell'obsolescenza dei serramenti.

5.2.1 Isolamento termico degli elementi opachi verticali

Le pareti opache verticali, infatti, rappresentano una delle principali superfici disperdenti negli edifici scolastici, in particolare in quelle caratterizzate da murature massicce non o poco isolate. Secondo la Guida ENEA, le pareti perimetrali di tali edifici presentano spesso valori di trasmittanza termica superiori a 1,0-1,5 W/m²K, nettamente più elevati rispetto ai requisiti attuali ($U \leq 0,8$ W/m²K).

Gli interventi di isolamento delle pareti verticali possono essere realizzati attraverso:

- **Isolamento all'esterno**

L'intervento è comunemente chiamato "cappotto termico" esterno e costituisce uno dei sistemi più efficaci per isolare efficacemente un edificio. Il cappotto non è un blocco unico, ma è composto da più parti, quali collante, pannello isolante, tasselli per ancoraggio, intonaco di fondo, strato di rinforzo o armatura, intonaco di finitura ed eventuali accessori. Esso permette di correggere i ponti termici, riducendo così la comparsa di fenomeni come condensa e muffe, di sfruttare maggiormente l'inerzia termica delle pareti sul lato interno dell'edificio. Inoltre, essendo un intervento effettuato sull'esterno dell'edificio, la sua installazione non riduce la superficie calpestabile degli ambienti e non crea eccessivi disagi agli occupanti. L'intervento è piuttosto oneroso, ma permette al contempo anche di rinnovare la facciata.

Un materiale isolante innovativo che viene può essere impiegato in un cappotto è il termo-intonaco, in cui il componente inerte, generalmente sabbia, è sostituito del tutto o parzialmente con dei materiali isolanti di piccole dimensioni, conferendo elevata traspirabilità e alto potere isolante.

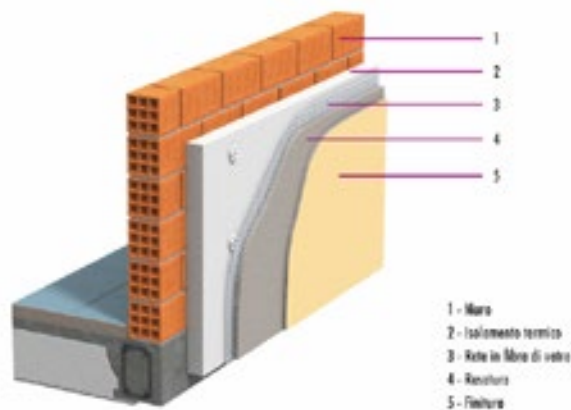


Fig. 5.1 Cappotto termico [Fonte: ANIT - Ecosism]

- **Isolamento all'interno**

L'intervento consiste nell'applicazione mediante incollaggio di pannelli composti, per esempio di materiale isolante (polistirene, sughero, canapa...) e cartongesso, sulla superficie interna delle pareti di tamponamento. Il cappotto termico interno assicura un tempo di posa piuttosto rapido e garantisce il miglioramento delle condizioni termoigrometriche, grazie all'innalzamento delle temperature superficiali delle pareti, e l'eliminazione dei fenomeni di condensa superficiale. Non è particolarmente oneroso ma, a differenza del cappotto esterno, non corregge tutti i ponti termici e non elimina completamente i problemi di condensa e muffe, causa una leggera diminuzione dello spazio calpestabile e può richiedere il riposizionamento dei radiatori, ventilconvettori, delle prese e degli interruttori. Generalmente si adopera quando non è consentito intervenire sulle facciate esterne, per vincoli architettonici o condominiali, oppure quando si voglia limitare l'intervento a delle singole unità immobiliari.

Nel caso in cui non si voglia ridurre eccessivamente la superficie calpestabile, per isolare le pareti verticali interne si possono impiegare i PCM (Phase Changing Materials): si presentano sotto forma di capsule che vengono inserite all'interno di pannelli trasparenti in polimetilmetacrilato dallo spessore molto ridotto e sono capaci di assorbire calore e di restituirlo nel tempo all'esterno, senza variare la propria temperatura. Tali materiali sono in grado di aumentare la capacità termica della struttura, ossia la sua attitudine ad accumulare calore.

- **Isolamento nell'intercapedine (ove presente)**

Qualora le pareti perimetrali siano costituite da due elementi separati da una camera d'aria, è possibile riempire tale cavità con materiali isolanti tramite insufflaggio. Quando l'intercapedine ha spessore maggiore di 5 cm si possono inserire materiali granulari, come la vermiculite e l'argilla espansa; se invece lo spessore è inferiore si possono utilizzare materiali liquidi che una volta iniettati si espandono e solidificano, quali le resine poliuretaniche.

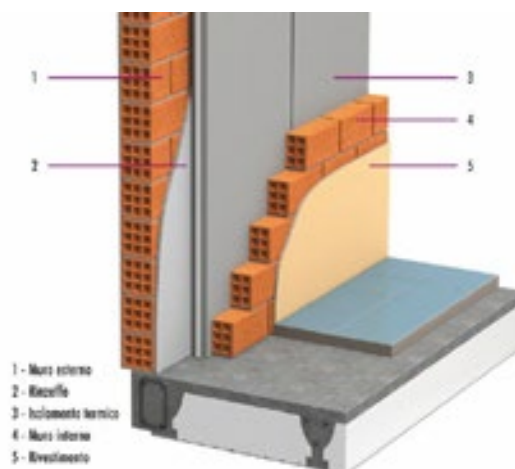


Fig. 5.2 Isolamento in intercapedine [Fonte: ANIT - Ecosism]

5.2.2 Isolamento termico degli elementi opachi orizzontali

Le strutture opache orizzontali, solai intermedi, controterra e di copertura, rappresentano un'altra componente critica dell'involucro edilizio scolastico. Molti immobili presentano solai privi di isolamento termico o con strati isolanti insufficienti e degradati.

Isolamento delle coperture

In particolare, i solai di copertura, essendo strutture disperdenti direttamente verso l'esterno, possono incidere in maniera consistente sul bilancio energetico complessivo, soprattutto negli edifici di uno o due piani. Dal punto di vista energetico, l'isolamento delle coperture consente una riduzione significativa delle dispersioni termiche invernali e contribuisce al miglioramento del comfort estivo, limitando il surriscaldamento. Si prevedono interventi differenti per le coperture a falda e piane.

Gli interventi di riqualificazione delle coperture a falde possono includere:

- **Isolamento in estradosso**

In occasione di rifacimenti del manto l'intervento di isolamento prevede la posa di uno strato di materiale isolante tra il solaio di copertura e lo strato di finitura. Nel caso di solette piene in calcestruzzo armato o laterocemento, l'isolante deve essere posto tra listelli di legno, posati longitudinalmente lungo la pendenza e a distanza di 50-60 cm l'uno dall'altro, con spessore pari o maggiore a quello dello strato isolante stesso. Sopra ciò deve essere poi fissata una seconda orditura di listelli in senso ortogonale alla precedente, per la posa del manto impermeabile. È consigliato che sulla faccia inferiore del materiale isolante sia disposta una barriera al vapore. Una minore dispersione si ottiene se viene realizzata anche un'intercapedine ventilata al di sotto del manto di copertura, tramite due aperture sottotegola localizzate in colmo e in gronda, in quanto consente di garantire una distribuzione di temperatura più uniforme e un rapido smaltimento del vapore acqueo. Le condizioni ideali per l'interposizione di un'intercapedine ventilata tra l'isolante e le tegole in una copertura inclinata sono l'inclinazione della falda di 30° e uno spessore dello strato d'aria di 8-10 cm.

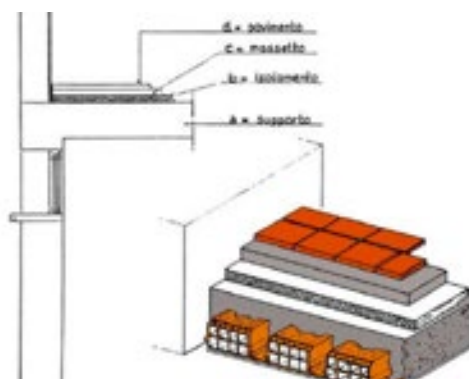


Fig. 5.3 Isolamento in estradosso [Fonte: ENEA]

- **Isolamento in intradosso**

La soluzione con l'isolamento in intradosso delle falde è la soluzione utilizzata più frequentemente per gli edifici dotati di sottotetto abitabile e negli interventi di ristrutturazione delle coperture in legno delle abitazioni civili.

Il sistema prevede la posa in opera del materiale coibente direttamente sulla struttura della falda mediante l'utilizzo di pannelli di materiale isolante o anche di elementi che lo contengono e che si prestano ad essere ulteriormente trattati. I materiali coibenti per l'isolamento interno sono più efficienti se con un'alta inerzia termica, ovvero con un'alta massa volumica e superficiale, allo scopo di garantire buone prestazioni anche nei mesi più caldi e rallentare l'ingresso del calore dall'esterno, diminuendo lo sfasamento.

Se l'ambiente sottostante è abitato, solitamente viene apposta una finitura interna che celi l'isolante, come i pannelli in cartongesso. Sul lato interno è sempre consigliata l'applicazione di una barriera al vapore continua, affinché l'isolante mantenga nel tempo le sue caratteristiche e si eviti la formazione di condensa interstiziale.

Come per le strutture opache verticali, l'isolamento all'interno ha i vantaggi del costo contenuto e della facilità di posa.

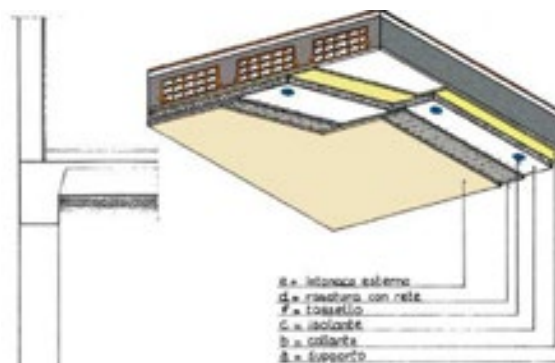


Fig. 5.4 Isolamento in intradosso [Fonte: ENEA]

- **Isolamento sul sottotetto non praticabile**

In presenza di soffitte non praticabili, il sistema consiste nella posa in opera “a secco” sull'estradosso della soletta. L'isolamento può essere eseguito posando sul pavimento uno strato di barriera al vapore, ad esempio un rivestimento in alluminio o polietilene, sul quale verrà collocato il materiale isolante, ad esempio fibra di cellulosa, pannelli rigidi in polistirene o rotoli di lana di roccia. Essendo il solaio non praticabile è del tutto facoltativo posare anche una protezione superiore di finitura.



Fig. 5.5 Isolamento del sottotetto [Fonte: Isover]

- **Isolamento sul sottotetto praticabile**

Quando il sottotetto è praticabile conviene posare il materiale isolante sull'estradosso delle falde, come menzionato in precedenza, tuttavia, per sostenere una minore spesa è possibile fissare l'isolante anche all'interno. È possibile eseguire l'intervento alla stessa maniera del sottotetto non praticabile, ma dovrà necessariamente essere predisposto un massetto di rinforzo e adeguata pavimentazione. È sempre utile prevedere anche uno strato di barriera al vapore, su cui incollare o inchiodare i pannelli isolanti rigidi, quali fibra di legno, sughero, polistirolo. Se il tetto è realizzato con una sottostruttura a vista, è possibile realizzare un isolamento all'intradosso riempiendo lo spazio fra le travi con un isolante morbido, ad esempio lana o fibra di vetro.

Se la copertura dell'edificio è piana, ovvero dispone di una terrazza praticabile o meno, l'intervento di riqualificazione può essere svolto sia dall'interno e sia dall'esterno:

- **Isolamento all'esterno**

L'isolamento esterno la tecnica di coibentazione preferibile poiché è particolarmente adatta a eliminare i ponti termici e il conseguente rischio di condense.

Dal punto di vista tecnologico, il sistema implica l'applicazione al di sopra del solaio di copertura esistente di uno strato isolante, preferibilmente con barriera al vapore per scongiurare fenomeni di condensa interstiziale, di un nuovo manto di impermeabilizzazione e di una protezione del manto, che si differenzia in base all'uso a cui la copertura è destinata: se non praticabile si utilizzano ghiaia ed argilla espansa, se praticabile vengono disposti massetto di rinforzo e pavimentazione.

Particolarmente adatti a edifici con un elevato rapporto tra la copertura del tetto e il volume riscaldato, come i complessi scolastici, sono i “tetti verdi”, strutture con strato di terra e vegetazione ad alto potere isolante che vengono posate sulle coperture piane per realizzare dei giardini pensili.



Fig. 5.6 Isolamento del tetto a falda in estradosso [Fonte: Rockwool]

- **Isolamento all'esterno**

Questa alternativa comporta la posa in opera di pannelli isolanti, in genere già finiti e solo da tinteggiare, da incollare sull'intradosso della soletta. Lo spessore di suddetti pannelli è da scegliere in funzione delle dispersioni termiche della copertura, ma mai inferiore a 3 cm. Nel dettaglio, il procedimento consiste nella pulizia della base di appoggio con eventuale asportazione delle tinteggiature, seguita dall'incollaggio dei pannelli e della listatura con garza dei punti di aderenza tra pannelli. Infine, si conclude con stuccatura con gesso e finitura con idropittura. In alternativa, si può utilizzare un pacchetto costituito da starto isolante e gesso rivestito con alluminio.

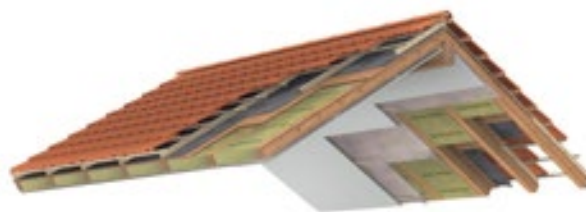


Fig. 5.7 Isolamento del tetto a falda in intradosso [Fonte: Rockwool]

Isolamento dei solai inferiori

Le strutture opache orizzontali, come menzionato in precedenza, risultano frequentemente non coibentate, causando l'aumento dei fabbisogni energetici e il peggioramento delle condizioni di comfort termo-igrometrico degli ambienti didattici. In particolar modo, risultano piuttosto disperdenti quelli posti ai piani inferiori, quali solai verso ambienti esterni, verso locali non riscaldati o verso il terreno.

L'isolamento del pavimento al piano terra, che in genere separa l'ambiente interno riscaldato e locali non riscaldati (quali box e cantine) o il terreno, è di fondamentale importanza per ridurre sia le dispersioni termiche, sia il fenomeno della condensa superficiale.

Per scongiurare queste problematiche, la riqualificazione energetica di un solaio dovrebbe portare la temperatura superficiale interna dei pavimenti rivolti verso porticati, ambienti non riscaldati o terreno, ad una soglia non minore di 2 °C rispetto alla temperatura dell'aria interna.

La tipologia di intervento e la scelta del materiale isolante più adatto dipendono dall'esposizione del solaio al piano terra:

- a) pavimento verso esterno (es. portico);
- b) pavimento verso locale non riscaldato;
- c) pavimento contro terra o vespaio.

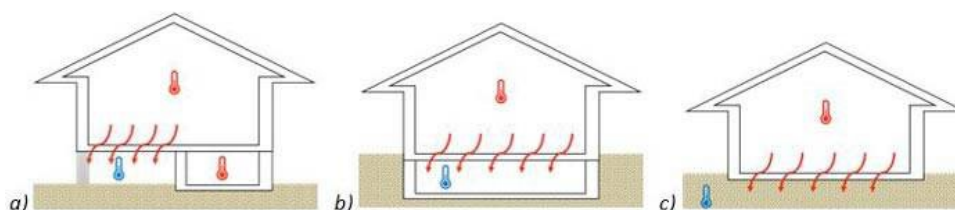


Fig. 5.8 Esposizioni del basamento: a) Verso esterno; b) Verso ambienti non riscaldati; c) verso terreno [Fonte: C2R Energy Consulting]

Per la coibentazione di solai situati sia sopra porticati che sopra ambienti non riscaldati possono essere utilizzati pannelli rigidi in calcestruzzo cellulare o polistirene espanso e materiali flessibili riflettenti, applicati in intradosso o estradosso. Il primo caso prevede l'applicazione di pannelli isolanti direttamente sul soffitto dell'ambiente non riscaldato o del portico, oppure la realizzazione di un controsoffitto isolante.

Nell'ultimo caso il materiale isolante va posato preferibilmente sull'estradosso del solaio. È sempre consigliata la posa di uno strato di barriera al vapore e uno di impermeabilizzante sotto lo strato di materiale coibente. Per evitare la permanenza di umidità nei vespai è bene anche favorire la ventilazione interna, praticando dei fori sulle pareti per favorire la circolazione dell'aria.

Nel caso l'altezza del locale lo consenta si possono utilizzare casseri a perdere, ovvero elementi prefabbricati e modulari in materiale plastico, di altezza e dimensioni variabili, posati a secco sul pavimento della struttura esistente. Al di sopra si posa in opera la soletta,

il massetto, la barriera al vapore, lo strato di isolante e la finitura del pavimento. Il vantaggio di tale sistema consiste nel creare un vespaio ottenendo anche la predisposizione a ospitare canalizzazioni elettriche e altri sistemi tecnici.

Isolamento dei solai interpiano

Il solaio interpiano è la struttura orizzontale che separa due ambienti interni dell'edificio e può avere numerose configurazioni e stratigrafie variabili, a seconda delle soluzioni tecnologiche scelte, delle destinazioni d'uso dei locali e delle prestazioni energetiche che si vogliono ottenere. Negli interventi su questa struttura, la scelta dei materiali e dell'isolamento termico incidono pesantemente sull'efficienza energetica e sul comfort interno.

In genere, la stratigrafia di un solaio interpiano prevede dall'alto verso il basso:

- Pavimentazione/finitura;
- Massetto per la ripartizione dei carichi;
- Isolante acustico;
- Massetto di livellamento per impianti;
- Isolamento termico;
- Barriera al vapore;
- Struttura del solaio;
- Intonaco o altro strato di finitura dell'intradosso.

In caso di riscaldamento a pavimento, i pannelli radianti sono posti sotto il massetto e sopra lo strato isolante che in questo modo limita le dispersioni di calore verso gli ambienti sottostanti.

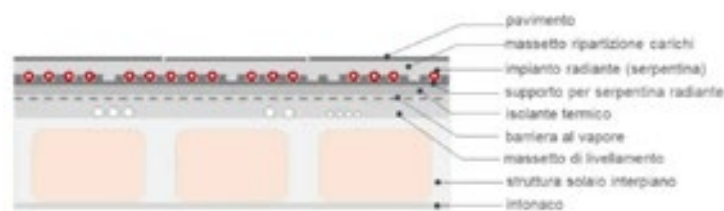


Fig. 5.9 Stratigrafia di solaio con pavimento radiante [Fonte: Biblus].

5.2.3 Riqualificazione dei serramenti e interventi di schermature solari

Le chiusure trasparenti rappresentano uno degli elementi con maggiori criticità dell'involucro edilizio, dal punto di vista delle dispersioni termiche e del comfort interno.

Questa problematica è particolarmente rilevante nell'ambito degli edifici scolastici, i quali, necessitando di un'ingente quantità di luce naturale per la loro destinazione d'uso, sono solitamente caratterizzati da un elevato numero di serramenti e da vetri di grande dimensione. Il telaio può essere realizzato con diversi materiali quali l'alluminio, il legno e il PVC ed è responsabile di minori dispersioni ma, specialmente nel caso di infissi obsoleti, è possibile che la tenuta dell'aria non sia efficace e che quindi il comfort termico interno diminuisca.

Tra le diverse le tipologie di intervento di riqualificazione delle chiusure trasparenti troviamo:

- **Applicazione di pellicole adesive**

L'intervento più semplice ed economico prevede l'applicazione di una pellicola adesiva sul vetro. Possono essere scelte:

- pellicole basso emissive, che consentono la parziale riduzione della dispersione di calore verso l'esterno;
- pellicole solari riflettenti, che limitano l'ingresso della radiazione solare, permettendo la riduzione dell'impiego del condizionamento estivo, ma un aumento del fabbisogno energetico per quello invernale.

- **Sostituzione dei vetri**

Se l'infisso ha già una buona performance è possibile sostituire soltanto il vetro con uno a più alto potere isolante. Tra le scelte possibili:

- vetri a controllo solare (riflettenti e assorbenti), che limitano la trasmissione della radiazione solare;
- vetri basso emissivi, che offrono un elevato isolamento termico, un fattore solare di circa il 60/70% e una trasmissione luminosa intorno al 70/80%;
- vetri selettivi, che riducono il passaggio dei raggi ultravioletti e infrarossi evitando il surriscaldamento nella stagione estiva, e presentano un buon valore di trasmittanza termica, un fattore solare di circa il 20-50% e una trasmissione luminosa tra il 35-70%;
- vetri camera (doppio e triplo) con intercapedine sottovuoto o riempita con gas (generalmente argon o krypton);
- componenti trasparenti a bordo caldo (warm-edge) per la riduzione delle dispersioni termiche perimetrali e la prevenzione della formazione di

condensa;

I due diversi trattamenti di coating (selettivo e basso emissivo) possono anche essere combinati contemporaneamente in un stesso vetro isolante. L'intervento più conveniente sul profilo costi-benefici è quello che prevede la sostituzione del singolo vetro con un vetro doppio o triplo e con trattamento basso emissivo.

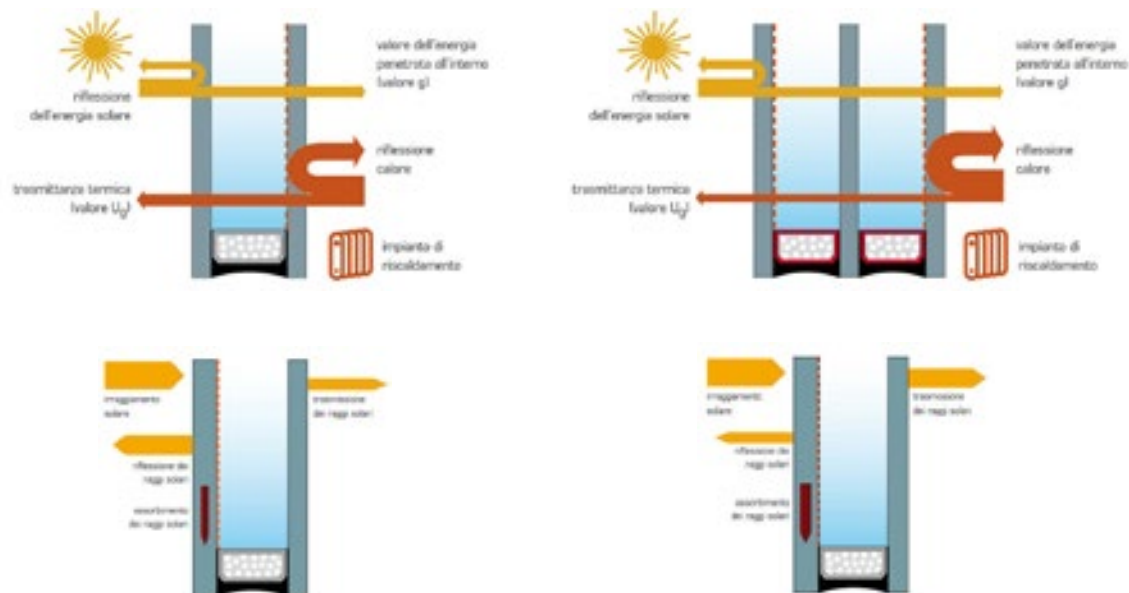


Fig. 5.10 Funzionamento del vetro basso-emissivo nei vetri doppi a) e tripli b); funzionamento di un vetro a controllo solare riflettente c) e assorbente d) [Fonte: Biblus]

- **Sostituzione dell'intero serramento**

Esistono diverse tipologie di telaio che differiscono per materiali usati e per caratteristiche tecniche, a cui è possibile aggiungere le tipologie di specchiature vetrate specificate al punto precedente, anche nella versione vetrocamera integrato. La sostituzione dell'intero serramento è l'intervento più costoso ma che apporta un maggior vantaggio in termini di riduzione dei consumi.

Per motivi di sicurezza, nelle scuole è più idoneo l'impiego di serramenti con apertura scorrevole, così da non interferire con la disposizione interna, e dotati di opportuni sistemi di bloccaggio, indipendentemente dai requisiti di tenuta dell'infisso.

I principali serramenti sono:

- telai in alluminio a taglio termico multicamera, con eventuali schiume isolanti in camera. Sono adatti per serramenti di grandi dimensioni, hanno una buona tenuta all'aria e bassi valori di trasmittanza termica;
- telai in legno a bassa densità, con eventuale strato isolante interno. Offrono un'ottima performance termica, ma necessitano di una manutenzione più frequente;

- telai in PVC multicamera, con eventuali schiume isolanti in camera. Hanno buona resistenza meccanica e termica e dei valori molto bassi di trasmittanza termica.



Fig. 5.11 Esempi di telai, rispettivamente alluminio, legno, PVC [Fonte: Italserramenti].

- **Installazione di un doppio serramento**
- **Controllo della tenuta dei serramenti**

È necessario controllare periodicamente lo stato dei serramenti per assicurarsi che non vi siano infiltrazioni d'aria, causa principale delle dispersioni di calore. Il primo controllo da effettuare è quello delle guarnizioni sulle battute delle ante, che sono eventualmente sostituibili in modo rapido e con un costo limitato. Nel caso in cui i serramenti siano particolarmente datati e quindi privi di tali guarnizioni è necessario installarle.

- **Isolamento termico del cassonetto**

Si tratta di un intervento piuttosto semplice e poco oneroso, che prevede l'applicazione di un pannello isolante, qualora ci sia uno spazio di almeno 2 cm.



Fig. 5.12 Coibentazione cassonetto [Fonte: Wuerth]

- **Applicazione di sistemi di schermatura solare e controllo degli apporti estivi**

È un intervento semplice e conveniente che prevede l'applicazione di schermi davanti alle finestre. Le strutture schermanti controllano l'irraggiamento solare e diminuiscono la trasmittanza termica dei serramenti. Inoltre, consentono di regolare il livello di illuminazione naturale all'interno degli ambienti.

Le strutture schermanti possono essere orizzontali o verticali, e possono essere posizionate sul lato interno o esterno della finestra, o all'interno della camera.

I sistemi orizzontali sono efficaci sulle facciate rivolte a sud, mentre i sistemi verticali sono utili solo per schermare le pareti esposte ad est e ad ovest.

I sistemi schermanti interni sono quelli di più facile posa in opera, e possono svolgere anche la funzione di complemento di arredo. Sono utilizzati in particolare nelle facciate est e ovest.

La scelta dei dispositivi di schermatura solare deve tenere conto della dimensione ed esposizione delle superfici trasparenti, delle condizioni climatiche del sito di progetto, dell'orientamento dell'edificio e della presenza di edifici adiacenti.

I sistemi schermanti esterni si distinguono principalmente in:

- frangisole verticali fissi: sono composti da doghe o pale pre-orientate, installate verticalmente davanti alla finestra. Devono essere orientate rispetto all'angolo solare prevalente della località. Possono essere realizzati in diversi materiali e con diversa inclinazione e distanza tra le pale;
- frangisole verticali orientabili: doghe o pale verticali, fissate con perni mobili, orientabili manualmente o tramite motori per seguire il percorso azimutale del sole;
- frangisole orizzontali orientabili: doghe o pale orizzontali parallele alla facciata orientabili manualmente o con motori. Generalmente devono essere installate a una certa distanza dalla superficie trasparente;
- frangisole a lamelle orientabili (veneziane): lamelle orizzontali sospese orientabili (fino a 180°), impacchettabili e azionate manualmente o tramite motore;
- tende avvolgibili: tende in tessuto avvolte su un rullo che a seconda della necessità possono essere srotolate.

Dei sistemi schermanti interni fanno parte:

- tende avvolgibili/a rullo: sono generalmente in tessuto e possono presentare il cassonetto o meno. È possibile regolare lo svolgimento del telo in base all'angolo solare;
- tende alla veneziana: lamelle orizzontali (alluminio o plastica) con meccanismo di orientamento delle lamelle localizzato nel cassonetto superiore;

- tende a lamelle verticali: bande verticali (tessuto, metallo, legno o PVC) sospese su un binario superiore, orientabili sul loro asse verticale per 180°.

Infine, i sistemi schermanti integrati nella camera sono solitamente delle lamelle fisse o orientabili inserite in intercapedine (lamelle alla veneziana, tende a rullo o plissettate impacchettabili), regolate con sistemi di movimentazione di tipo magnetico o elettrico.

L'utilizzo di schermature in intercapedine è vantaggioso in quanto garantisce migliori prestazioni in termini di isolamento termico rispetto a quelle interne (in cui il calore viene ostacolato una volta che ha già attraversato la finestra) e di durabilità rispetto a quelle esterne (in quanto non esposte agli agenti atmosferici).

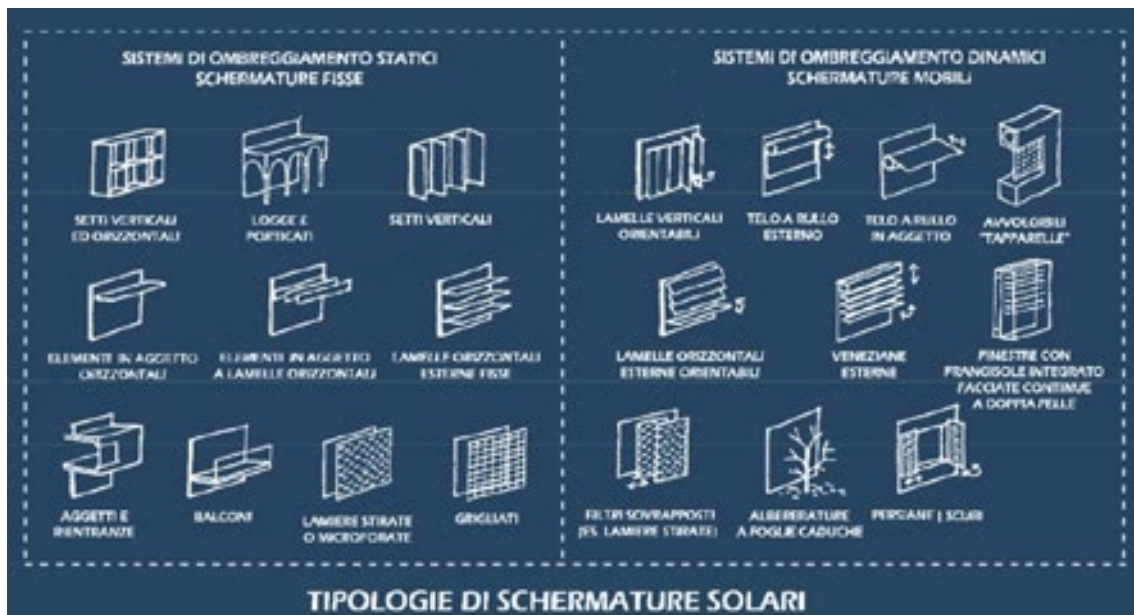


Fig. 5.13 Tipologie di schermature solari [Fonte: Posaqualificata].

5.3 Interventi di efficientamento sugli impianti tecnologici

Gli impianti tecnologici sono spesso ragione di inefficienza energetica negli edifici scolastici esistenti, a causa della loro obsolescenza, dei bassi rendimenti dei sottosistemi e della integrazione poco efficiente con l'involucro edilizio.

In numerosi edifici scolastici gli impianti di climatizzazione hanno superato il decennio di vita utile e sono quindi caratterizzati da rendimenti significativamente inferiori agli standard odierni. La riqualificazione degli impianti tecnologici è pertanto un intervento fondamentale e deve essere affiancato dal miglioramento delle prestazioni dell'involucro edilizio.

5.3.1 Riqualificazione degli impianti termici

La climatizzazione invernale rappresenta il principale motivo di consumo energetico negli edifici scolastici, incidendo mediamente per più della metà del totale.

Sono tutt'oggi molto diffusi i generatori di calore tradizionali, privi di sistemi di regolazione moderni e automatici e in cui l'energia termica è prodotta attraverso caldaie alimentate a combustibile fossile liquido o gassoso (gasolio, metano, GPL).

La maggior parte degli impianti di riscaldamento sono limitati alla regolazione della temperatura dell'aria interna, mentre alcuni sistemi, chiamati più correttamente di climatizzazione, controllano anche ulteriori parametri, quali l'umidità relativa e la qualità dell'aria.

In generale un impianto termico è composto da quattro sottosistemi:

- Sistema di generazione: è costituito solitamente da una caldaia, che trasferisce il calore prodotto tramite l'utilizzo di un combustibile liquido o gassoso ad un fluido termovettore (generalmente l'acqua), che lo cede a sua volta ai terminali installati all'interno degli ambienti;
- Sistema di distribuzione: è composto dall'insieme delle tubazioni di mandata e di ritorno all'interno dei quali circola il fluido termovettore. Negli impianti di riscaldamento di tipo tradizionale (a radiatori), l'acqua calda a 70-80°C prodotta dalla caldaia alimenta i terminali dei vari ambienti e ritorna a temperatura più fredda alla caldaia stessa (60-70°C), per una differenza tra temperatura di mandata e di ritorno di circa 10°C;
- Sistema di regolazione: è costituito dall'insieme di elementi come valvole, termostati, sonde termiche e sensori che gestiscono il flusso e controllano la temperatura del fluido termovettore e dell'ambiente;
- Sistema di emissione: include i diversi corpi scaldanti installati all'interno degli ambienti da climatizzare. La tipologia e la potenza dei terminali è scelta in fase di progettazione, a seconda delle caratteristiche del locale da riscaldare. È possibile utilizzare radiatori, ventilconvettori, pannelli radianti e, nel caso di locali a grande altezza, come le palestre, è possibile installare aerotermini. Questi impianti, se molto datati e non regolarmente mantenuti, possono essere poco efficienti.

Gli interventi che possono essere realizzati sono differenti per complessità di realizzazione e costo. L'operazione più semplice è ovviamente quella di assicurare la manutenzione periodica dell'impianto, e la pulizia dei vari componenti. Un altro intervento di facile realizzazione e bassa onerosità è l'installazione di sistemi di controllo automatizzati della temperatura interna, che regolano la portata del fluido riscaldante in base alla temperatura ambiente raggiunta (valvole termostatiche, valvole elettrotermiche e valvole di zona). È possibile inoltre sostituire alcuni componenti dell'impianto con altri dotati di tecnologie più moderne, come le pompe di circolazione a inverter, che sono in grado di regolare la portata in base alla richiesta effettiva.

Altri interventi più impattanti e onerosi, ma che garantiscono un beneficio energetico ed

economico significativamente maggiore:

- **Sostituzione del generatore**

Dal 2015 non è più possibile installare in una nuova costruzione caldaie di tipo tradizionale. La sostituzione integrale del generatore può assicurare una riduzione dei consumi di combustibile fino al 20-30% e anche di più se integrato con altri interventi che coinvolgono i sistemi di regolazione.

L'installazione di un generatore a condensazione, al posto di una caldaia tradizionale, richiede l'adeguamento di alcuni componenti dell'impianto per un corretto funzionamento e per la sicurezza:

- sostituire la canna fumaria con una idonea all'evacuazione di fumi ad umido (materiali anticorrosione di tipo plastico come il polipropilene);
- installare dispositivi di scarico delle condense o neutralizzatori;
- provvedere alla "defangazione" dell'acqua di scambio termico.

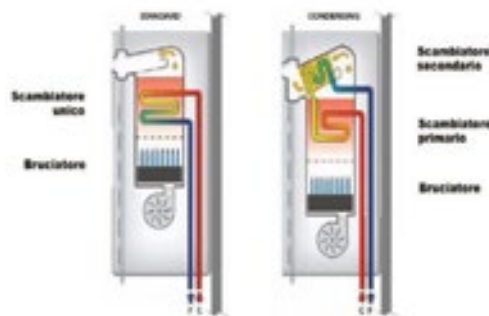


Fig. 5.14 Caldaia tradizionale e caldaia a condensazione [Fonte: Guida all'efficienza energetica degli edifici scolastici - ENEA (2016)].

- **Integrazione dell'impianto tradizionale con impianti a fonti rinnovabili**

In questo caso viene mantenuto il generatore principale esistente, ma vengono installati piccoli impianti integrativi che servono ad esempio a preriscaldare il fluido termovettore che alimenta la caldaia, tra cui:

- generatori a biomassa;
- solare termico e solar-cooling;
- scaldacqua a pompa di calore;
- allaccio a reti di teleriscaldamento efficienti.

- **Installazione di pompe di calore**

La pompa di calore è una macchina che consente di trasferire del calore da una sorgente fredda a un corpo a temperatura maggiore. Le pompe di calore si distinguono anche in base alla sorgente di scambio termico che utilizzano:

- l'aria, come sorgente fredda, ha il vantaggio di essere disponibile ovunque;
- l'acqua, come sorgente fredda, garantisce le prestazioni della pompa di calore indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne;
- il terreno, come sorgente fredda, ha il vantaggio di subire sbalzi di temperatura meno significativi rispetto all'aria, tuttavia presenta costi di installazione elevati.

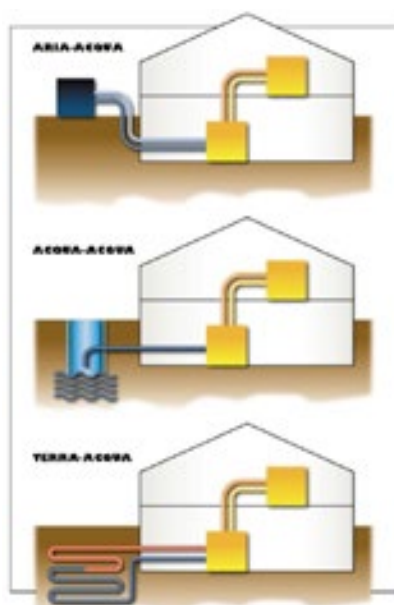


Fig. 5.15 Tipologie di pompe di calore [Fonte: Guida all'efficienza energetica degli edifici scolastici - ENEA (2016)].

La pompa di calore può essere utilizzata per la sola produzione di calore per il riscaldamento degli ambienti o anche per la produzione di acqua calda sanitaria. L'applicazione della pompa di calore per il condizionamento sia invernale che estivo in un edificio esistente richiede un intervento di ristrutturazione dell'intero impianto termico ed elettrico, con un conseguente costo elevato. Rispetto a un suo utilizzo per il solo riscaldamento, l'applicazione della pompa di calore alla climatizzazione invernale ed estiva è più conveniente e comporta un minor tempo di ammortamento del costo dell'impianto.

Tra le pompe di calore disponibili:

- **Pompe di calore elettriche a compressione**

Le pompe di calore più diffuse sono alimentate ad energia elettrica e utilizzano come sorgente fredda l'aria. Il vantaggio della pompa di calore elettrica a compressione è dovuto alla sua capacità di fornire più calore di quella elettrica impiegata per il suo funzionamento in quanto estrae calore dall'ambiente esterno (aria-acqua-terreno). L'efficienza di una pompa di calore è misurata dal coefficiente di prestazione "COP" (Coefficient of Performance), ovvero il rapporto tra l'energia fornita al mezzo da riscaldare

e l'energia elettrica consumata.

- **Pompe di calore ad assorbimento**

La pompa di calore ad assorbimento a metano o energia rinnovabile è un apparecchio in grado di produrre, come una tradizionale caldaia a metano, acqua calda per il riscaldamento degli edifici e per uso sanitario. È una “pompa di calore” in quanto, come le pompe di calore elettriche, è in grado di recuperare energia rinnovabile dall'aria, dall'acqua e dal terreno e di raggiungere efficienze perfino superiori al 170%. Esiste anche una versione reversibile, che può fornire anche acqua fredda per il condizionamento estivo.

L'efficienza di una pompa di calore a gas è misurata dal valore di efficienza di utilizzazione del gas “GUE” (Gas Utilization Efficiency), ovvero il rapporto tra l'energia fornita al mezzo da riscaldare e l'energia consumata dal bruciatore.

5.3.2 Sistemi per la gestione integrata delle funzioni tecnologiche dell'edificio (BEMS/BACS)

Un sostanziale abbattimento dei consumi energetici di un edificio e significativi benefici economici possono essere ottenuti tramite il controllo, il monitoraggio e la gestione dell'uso dell'energia. Queste funzionalità sono svolte dai BEMS/BACS (Building Energy Management System/Building Automation and Control System), i sistemi di controllo computerizzati in grado di monitorare e regolare gli impianti meccanici ed elettrici a servizio degli immobili, consentendo di ottimizzare le prestazioni del sistema edificio-impianto in fase di esercizio e garantendo le condizioni ottimali di comfort all'interno dell'ambiente.

In particolare, con il termine “BEMS” sono indicati i sistemi di controllo dedicati nello specifico agli impianti energetici presenti nell'edificio: climatizzazione invernale ed estiva (se presente), ventilazione meccanica e/o naturale, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione artificiale e/o naturale.

La nuova Direttiva Case Green (EPBD IV), attraverso le disposizioni dell'art. 13 (commi 9 e 11) sui “Sistemi tecnici per l'edilizia”, nello specifico, stabilisce l'adozione obbligatoria dei sistemi BACS per gli edifici non residenziali aventi potenza termica > 290 kW entro il 31/12/2024 e > 70 kW entro il 31/12/2029. Gli edifici residenziali nuovi o sottoposti a ristrutturazioni importanti, invece, devono dotarsi di tali sistemi a partire dal 29/05/2026.

In Italia, per tali categorie, le disposizioni dell'art. 3.2, comma 10, sui “Criteri Generali e Requisiti delle Prestazioni Energetiche degli Edifici” emanate con il D.M. 26/06/2015, hanno già reso obbligatori i sistemi “BACS” di classe B. La classe B dei sistemi BACS corrisponde a un livello di automazione avanzato che integra regolazione automatica modulante degli impianti HVAC, programmazione oraria per zone, compensazione climatica, monitoraggio dei consumi e supervisione centralizzata, in conformità con la norma UNI EN ISO 52120-1.

5.3.3 Installazione di infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici

Le infrastrutture di ricarica per veicoli a trazione elettrica costituiscono sistemi impiantistici destinati all'alimentazione e alla ricarica dei veicoli elettrici negli spazi di pertinenza degli edifici, quali autorimesse o aree di parcheggio.

La loro diffusione supporta lo sviluppo della mobilità elettrica e la progressiva integrazione tra edificio e sistema energetico, contribuendo alla riduzione delle emissioni e alla promozione di una maggiore sostenibilità urbana.

La normativa nazionale ha introdotto precisi obblighi per l'integrazione di tali sistemi negli edifici: il D. lgs. 257/2016 e il D. lgs. 48/2020, in recepimento della Direttiva Europea 2018/844/UE (EPBD), prevedono che, a partire dal 1/01/2025, negli edifici non residenziali con più di 20 posti auto esistenti sia installato almeno un punto di ricarica, numero che cresce in modo progressivo con la dimensione del parcheggio, mentre già a partire da 10 posti devono essere predisposte infrastrutture di canalizzazione per almeno il 20% dei parcheggi complessivi, per favorire ampliamenti futuri senza necessità di interventi invasivi. L'obbligo sussiste per tutti gli edifici non residenziali di superficie maggiore a 500 m², sia di nuova costruzione che soggetti a ristrutturazione di I livello.

5.3.4 Impianto di ventilazione meccanica controllata

È molto frequente che gli edifici scolastici italiani non dispongano di impianti per la climatizzazione estiva. Tuttavia, l'aumento delle temperature e la crescente attenzione al comfort termico interno in spazi didattici rendono questo tema sempre più importante.

Gli interventi che coinvolgono impianti di climatizzazione estiva, per garantire il massimo dei benefici, devono essere preferibilmente integrati con:

- strategie passive di controllo solare;
- miglioramento dell'inerzia termica dell'involucro;
- ventilazione naturale o meccanica controllata.

Un impianto di ventilazione meccanica è un sistema atto a fornire, attraverso l'utilizzo di ventilatori elettromeccanici, una portata d'aria di rinnovo idonea a un ambiente piuttosto affollato come una scuola.

La ventilazione è essenziale per garantire un adeguato livello di qualità dell'aria indoor e per ridurre la concentrazione di eventuali inquinanti volatili (CO₂, particolato solido, formaldeide, composti organici volatili) che possono incidere negativamente sul benessere degli utenti.

I sistemi di ventilazione meccanica più comuni si distinguono in due tipologie:

- a singolo flusso/autoregolabile, in cui è presente un sistema di estrazione dell'aria interna viziata e l'immissione dell'aria esterna di rinnovo avviene da apposite

aperture situate nei locali da ventilare;

- a doppio flusso, in cui l'impianto di ventilazione è costituito da due canali di distribuzione differenti: un condotto regola l'immissione dell'aria e la filtra dalle sostanze microinquinanti, mentre l'altro è adibito all'aria in estrazione. Le portate possono essere gestite in maniera efficiente attraverso l'uso di sensori di controllo. I moderni sistemi di ventilazione meccanica a doppio flusso sono dotati di un recuperatore di calore, che permette di cedere parte del calore dell'aria in uscita all'aria in ingresso per preriscaldarla e ridurre i consumi energetici dell'edificio. L'efficienza degli attuali recuperatori può arrivare fino all'80-90%.

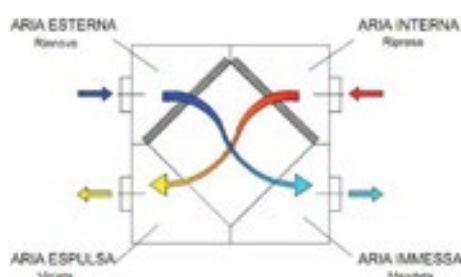


Fig. 5.16 Dinamica dell'aria per effetto della VMC [Fonte: Guida all'efficienza energetica degli edifici scolastici - ENEA (2016)].

5.3.5 Efficientamento degli impianti di illuminazione

Gli impianti di illuminazione sono responsabili di una quota significativa dei consumi elettrici negli edifici scolastici. Secondo ENEA, l'illuminazione artificiale può incidere fino al 20-30% dei consumi elettrici complessivi, soprattutto negli edifici caratterizzati da impianti obsoleti e poco efficienti.

Tra gli interventi possibili, alcuni dei quali presentano tempi di ritorno economico particolarmente ridotti e un ottimo rapporto costi-benefici:

- tinteggiare le pareti con colori chiari per aumentare la luminosità e diminuire i consumi della luce artificiale;
- impiegare interruttori a tempo in locali ad utilizzo discontinuo come bagni e vani scala, per spegnere le luci automaticamente dopo un periodo prestabilito di tempo. È anche possibile prevedere lo spegnimento automatico di tutte le lampade dopo l'orario di chiusura al pubblico dell'edificio.
- sostituire le vecchie lampade con nuovi modelli più efficienti. Le più moderne ed efficienti sono le lampade a LED (Diodi ad Emissione Luminosa), che a parità di luce emessa consumano fino al 50% di energia in meno rispetto alle lampade a fluorescenza e hanno un tempo di vita di oltre 100.000 ore, rispetto alle 10.000 di una lampada a fluorescenza.

5.4 Integrazione delle fonti energetiche rinnovabili

L'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili (FER) rappresenta un intervento fondamentale nelle strategie di riqualificazione energetica, di riduzione dei consumi di energia primaria non rinnovabile e delle emissioni inquinanti.

Gli edifici scolastici dimostrano elevate potenzialità nell'ambito dell'integrazione delle FER, in virtù dell'ampia disponibilità di superfici di copertura e della regolarità dei profili di consumo.

Nel caso delle riqualificazioni energetiche pesanti, l'integrazione delle fonti rinnovabili consente di avvicinare l'edificio a standard prestazionali molto elevati e, in determinati casi, a configurazioni di tipo nZEB (Nearly Zero Energy Building).

Tra gli impianti che sfruttano l'energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili troviamo quelli a energia eolica, solare, aerotermica (energia accumulata nell'aria ambiente sotto forma di calore), geotermica (energia immagazzinata sotto forma di calore nella crosta terrestre), idrotermica e oceanica (energia immagazzinata nelle acque superficiali sotto forma di calore), idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas.

Nell'ambito degli edifici scolastici gli impianti più idonei sono quelli fotovoltaici, solari termici ed eolici.

5.4.1 Impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica

Il fotovoltaico rappresenta la fonte rinnovabile più diffusa e facilmente applicabile agli edifici scolastici, per via della relativa semplicità di installazione e dell'ampia disponibilità di superfici di copertura. Infatti, molti edifici scolastici dispongono di coperture piane o inclinate con superfici tali da consentire l'installazione di impianti fotovoltaici di potenza significativa, capaci di coprire una quota rilevante dei consumi elettrici dell'edificio.

Un impianto fotovoltaico è in grado di trasformare l'energia solare in energia elettrica attraverso l'ausilio di speciali pannelli che sfruttano l'effetto fotoelettrico di alcuni materiali, detti semiconduttori, ovvero la capacità di trasformare la luce del sole a cui vengono esposti in energia elettrica. L'orientamento e l'inclinazione dei pannelli rispetto al terreno sono fattori imprescindibili per un funzionamento ottimale: è richiesta una esposizione tra sud-est e sud-ovest e un'inclinazione di 20-30 gradi rispetto al piano orizzontale.

L'energia elettrica prodotta può essere utilizzata principalmente per alimentare:

- gli impianti di illuminazione;
- i sistemi di climatizzazione;
- i sistemi di ventilazione meccanica;
- le apparecchiature elettriche ausiliarie.



Fig. 5.18 Schema impianto fotovoltaico [Fonte: Guida all'efficienza energetica degli edifici scolastici - ENEA (2016)].

5.4.2 Impianti solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria

Gli impianti solari termici costituiscono un beneficio significativo in particolare negli edifici scolastici dotati di palestre, mense e spogliatoi. Il solare termico, infatti, può coprire una quota significativa del fabbisogno di acqua calda sanitaria, riducendo il consumo di combustibili fossili e le emissioni relative.

Un impianto di questo tipo è in grado di trasformare l'energia solare in energia termica per la produzione di acqua calda ad una temperatura superiore ai 45°C, che può essere utilizzata per sia usi sanitari, che per la climatizzazione invernale degli ambienti.

I costi per l'acquisto e l'installazione di un impianto solare termico sono di molto inferiori a quelli di un impianto fotovoltaico.

L'integrazione del solare termico risulta particolarmente vantaggiosa in parallelo a impianti di generazione esistenti e in abbinamento a sistemi di accumulo.

5.4.3 Pompe di calore e utilizzo di energia rinnovabile ambientale

Le pompe di calore si classificano in base alla sorgente energetica esterna (l'aria, l'acqua o il terreno), al ciclo termodinamico di riferimento (a compressione di vapore, ad assorbimento o ad adsorbimento) e al fluido termovettore (aria o acqua). Si definisce COP (Coefficient of Performance) di una pompa di calore il rapporto tra l'effetto utile (l'energia termica ceduta) e l'energia consumata (l'energia meccanica, nel caso di pompe di calore elettriche, e l'energia termica del combustibile, nel caso di pompe di calore a gas). L'adozione di pompe di calore ad alta efficienza, specialmente se avviene in edifici già riqualificati dal punto di vista dell'involucro, consente di ridurre significativamente il consumo di energia primaria non rinnovabile.

5.5 Finanziamenti nazionali e fondi europei

La riqualificazione energetica degli edifici scolastici può essere supportata da diversi meccanismi di incentivazione. L'utilizzo di strumenti finanziari dedicati consente di affrontare uno dei principali ostacoli alla riqualificazione energetica del patrimonio scolastico, ovvero la limitata disponibilità di risorse economiche iniziali.

Le risorse finanziarie destinate a sostenere gli interventi di riqualificazione energetica e miglioramento strutturale degli edifici scolastici in Italia sono individuate nei bilanci degli Enti locali (Comuni, Province e Città Metropolitane), i quali possono impiegare risorse proprie o capitali trasferiti dalle Regioni o dallo Stato. Tali trasferimenti statali si concretizzano in strumenti quali i Decreti Mutui, il contributo dell'Otto per mille e specifici fondi straordinari per l'adeguamento strutturale e sismico degli edifici pubblici. Indipendentemente dalla provenienza del finanziamento, all'Ente locale proprietario dell'immobile spetta la responsabilità dell'indizione delle gare di appalto per lavori, servizi e forniture finalizzati alla riqualificazione edilizia.

A partire dal 2021, una delle principali linee di intervento nel campo dell'efficientamento del patrimonio immobiliare pubblico è rappresentata dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), attraverso la Seconda Missione "Rivoluzione verde e transizione ecologica".

Secondo la programmazione ufficiale aggiornata, è previsto un investimento di circa un miliardo di euro di prestiti per la costruzione di nuovi edifici scolastici e la ristrutturazione di quelli obsoleti, con obiettivi di sostenibilità energetica e sicurezza sismica.

La revisione del Piano di dicembre 2023 ha comportato, a fronte dell'incremento dei costi nel settore edilizio, un aumento delle risorse complessive destinate all'edilizia scolastica da 3,9 a 4,4 miliardi di euro, oltre a leggere riduzioni nella superficie obiettivo da riqualificare, pur mantenendo l'efficienza energetica come criterio centrale degli interventi.

Tra i principali strumenti finanziari europei vi sono il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) e i Programmi Operativi Nazionali e Regionali cofinanziati dall'Unione Europea, i quali sostengono a livello locale interventi di efficientamento energetico, installazione di tecnologie rinnovabili e miglioramento delle prestazioni degli edifici, con percentuali di copertura dei costi che possono raggiungere quote rilevanti del valore complessivo dei lavori.

Ulteriori linee di finanziamento prevedono accordi con istituzioni finanziarie internazionali. Per esempio, a Roma è stata siglata una collaborazione tecnica tra la European Investment Bank e le amministrazioni locali, finalizzata a sostenere l'efficientamento energetico di oltre 200 scuole attraverso strumenti finanziari e assistenza tecnica, integrando risorse pubbliche con linee di credito agevolate.

5.5.1 Conto Termico

Accanto alle risorse del PNRR, lo Stato promuove ulteriori meccanismi di incentivazione dedicati all'efficienza energetica nelle Pubbliche Amministrazioni, tra i quali il Conto Termico (DM 28/12/2012), uno strumento che supporta, anche per gli edifici scolastici, interventi di miglioramento dell'efficienza energetica e produzione di energia termica attraverso fonti rinnovabili. A differenza delle detrazioni fiscali, il Conto Termico prevede un contributo diretto in denaro, erogato dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE) al beneficiario, al completamento dei lavori o tramite una serie di rate annuali, in funzione degli interventi realizzati.

Gli interventi incentivabili comprendono la riqualificazione energetica dell'involucro di edifici esistenti (coibentazione di pareti e coperture, sostituzione dei serramenti e installazione di schermature solari), la sostituzione di impianti esistenti per la climatizzazione con impianti a più alta efficienza (caldaie a condensazione), la sostituzione o nuova installazione di impianti alimentati a fonti rinnovabili (pompe di calore, caldaie, stufe e camini a biomassa, impianti solari termici anche abbinati a tecnologia solar-cooling per il raffrescamento).

Il decreto introduce anche incentivi per la Diagnosi e la Certificazione Energetica, se abbinate, a determinate condizioni, agli interventi sopra citati.

Nel 2025 è stata introdotta la versione più recente del decreto, conosciuta come Conto Termico 3.0, disciplinata dal DM 7/08/2025, la cui operatività è prevista a partire dal 25 dicembre 2025.

Rispetto alla versione precedente (Conto Termico 2.0), sono ampliati e aggiornati la platea dei beneficiari e le tipologie di intervento incentivabili. L'incentivo si applica alle Pubbliche Amministrazioni (inclusi gli enti locali proprietari di edifici scolastici), ai privati, alle imprese, agli enti del Terzo Settore e alle Comunità Energetiche Rinnovabili.

La disponibilità finanziaria annua complessiva è di 900 milioni di euro, suddivisa tra 400 milioni per le Pubbliche Amministrazioni ed enti assimilati e 500 milioni per i soggetti privati e le imprese. Per i comuni con meno di 15.000 abitanti e specifici enti pubblici (edifici scolastici, strutture ospedaliere e di ricovero) la copertura dell'incentivo può raggiungere fino al 100 % delle spese ammissibili.

6. Caso studio: Plesso Scolastico Frazione Stella San Giovanni

6.1 Software Namirial Termo 6.5

Il software utilizzato per questo elaborato di tesi è Namirial Termo nella versione 6.5, per effettuare il calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio e dei relativi servizi previsti (riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ventilazione ed illuminazione).

Il software è certificato dal Comitato Termotecnico Italiano (CTI), secondo l'Allegato III del D.lgs. 115/08 e l'Art. 7 del DM 26/6/15. È conforme alla normativa italiana vigente, secondo la quale è costantemente aggiornato. È aggiornato al DM 26/06/2015 (DM Requisiti Minimi) e calcola gli indici di prestazione energetica dell'edificio secondo le specifiche tecniche UNI/TS 11300 e la UNI EN 15193:2008, inerenti al calcolo del fabbisogno energetico degli edifici e dei suoi servizi.

La modellazione dell'edificio può avvenire in modalità tabellare oppure in modalità grafica CAD, tramite importazione di DXF/DWG.

Le funzionalità previste nei moduli del software sono:

- Calcolo e verifica delle prestazioni energetiche per tutti i servizi previsti dalle norme, ovvero: riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ventilazione, illuminazione e trasporto;
- Redazione della Legge 10 e relative verifiche;
- Calcolo delle dispersioni per locale e verifiche termoigrometriche secondo metodo GLASER;
- Redazione dell'Attestato di Prestazione Energetica Nazionale (APE) valido per tutte le regioni italiane;
- Calcolo dei ponti termici agli elementi finiti con metodologia FEM e verifica del rischio della formazione di muffa;
- Calcolo dei carichi termici estivi secondo metodo Carrier-Pizzetti;
- Simulazione di interventi migliorativi attraverso un'analisi dei costi e dei benefici di risparmio energetico;
- Diagnosi energetica, ovvero analisi dei consumi effettivi dell'edificio e calcolo dei fabbisogni energetici nelle condizioni reali di utilizzo;
- Simulazione di serre solari per il calcolo degli apporti gratuiti diretti e indiretti alle zone termiche riscaldate per la valutazione dei benefici per le prestazioni energetiche;

- Contabilizzazione e ripartizione delle spese di climatizzazione invernale e acqua calda sanitaria;
- Generazione del computo metrico degli interventi e verifiche inerenti alle pratiche per i bonus fiscali.

L'interfaccia del software presenta un menu con struttura ad albero sul lato sinistro dello schermo, i cui nodi, tramite una compilazione tabellare piuttosto intuitiva, consentono di assolvere a tutte le attività precedentemente citate. Non è obbligatorio che i nodi dell'albero di progetto vengano compilati secondo l'ordinamento proposto, sebbene ciò sia consigliato, in quanto tale struttura rispecchia a grandi linee l'iter procedurale che viene seguito durante il reperimento dati del sopralluogo.

I nodi presenti nel menu sono:

- **Dati generali:** comprende un elenco di sotto nodi per l'inserimento delle informazioni basilari del progetto in analisi;
- **Strutture:** vi sono elencate le categorie di oggetti necessari per la definizione dell'involucro edilizio. In questo modulo vanno inoltre inseriti i ponti termici;
- **Centrali elettriche:** si definisce l'insieme dei generatori di energia elettrica presenti nel progetto;
- **Centrali termiche:** consente di definire una o più centrali a servizio del progetto;
- **Gruppi di trasporto:** permette di inserire, se presenti, i dati relativi ai sistemi di trasporto a servizio dell'edificio (non presenti nell'edificio in oggetto);
- **Edifici:** al suo interno è possibile rappresentare tutte le zone termiche funzionali al progetto. È possibile definire i vari subalterni, in quanto il software consente di effettuare un calcolo simultaneo di più unità immobiliari. Nel caso di modalità di input tabellare, per ogni zona termica vanno specificati i singoli locali che la costituiscono e di questi ultimi tutte le strutture in muratura, porte e finestre e ponti termici, inserendo ogni informazione di tipo geometrico e riguardo all'esposizione manualmente. Mentre in caso di input di tipo grafico, nel nodo Layout si può procedere all'inserimento grafico con sistema CAD che permette di importare disegni dxf, dwg o sottoposti bitmap e jpg;
- **Calcolo Edificio:** viene eseguito il calcolo e sarà consultabile il riassunto dei fabbisogni per ogni subalterno e per singolo servizio calcolato, con controllo automatico dei dati;
- **Dati Descrittivi:** in quest'ultima sezione è possibile compilare la dichiarazione di rispondenza per generare gli elaborati tecnici e i certificati energetici.

6.2 Inquadramento dell'immobile

L'oggetto del caso studio è l'edificio comunale che ospita il "Plesso Scolastico Frazione San Giovanni", che include la scuola materna, primaria e secondaria di I grado, ricadendo dunque nella destinazione d'uso E.7 (edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili) secondo D.P.R. 412/93 e s.m.i.. Il complesso prende il nome dalla sua ubicazione, ovvero la frazione San Giovanni di Stella (CAP 17044), un comune sparso nell'entroterra della provincia di Savona. L'edificio è situato in Località Rovieto Inferiore 25, affacciato sulla Strada Provinciale 334, a brevissima distanza dalla sede comunale. È catastalmente individuato al Fg. 25, mappale 725.

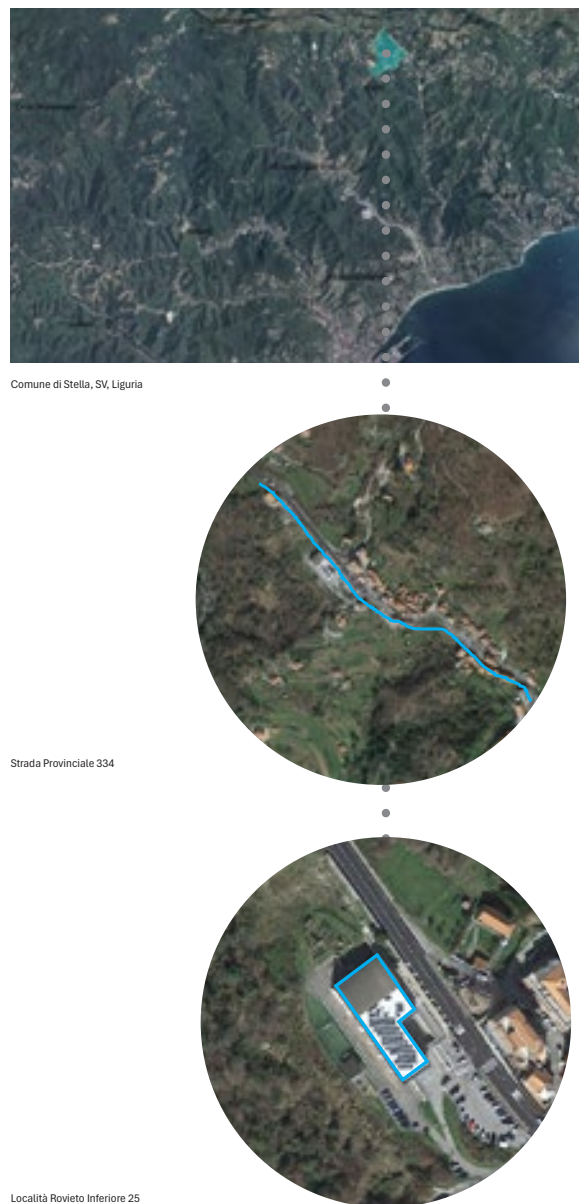


Fig. 6.1 Inquadramento territoriale complesso scolastico Stella. [Fonte: Geoportale Liguria e Google Earth].



Fig. 6.2 Estratto di mappa catastale - Foglio 25, Particella 725, Subalterno 1 [Fonte: Geoportale Cartografico Catastale].

Inquadramento normativo urbanistico

Si precisa che l'immobile oggetto di studio non è tutelato da alcun vincolo di natura storico-artistica o paesaggistica, non è soggetto a dissesto geomorfologico, né presenta vincoli di natura idrogeologica.



Fig. 6.3 Estratto da Carte Vincoli Territoriali [Fonte: Geoportale Liguria].



Fig. 6.4 Estratto da Carta dei dissesti geomorfologici pericolosità [Fonte: Geoportale Liguria].

Caratteristiche dell'immobile

L'edificio, realizzato tra gli anni 2005 e 2009, è caratterizzato da due corpi di fabbrica a pianta rettangolare. Il primo ha asse longitudinale parallelo alla viabilità pubblica SP 334, a cui è posto in prossimità e dalla quale è direttamente accessibile mediante piazzali posti alle tre quote dei piani di cui è costituito. Il corpo ospita i locali scolastici dei tre ordini, compresa la mensa. Il tetto di copertura è piano e calpestabile. Il secondo corpo è disposto con asse longitudinale ortogonale rispetto al primo ed è unicamente destinato a palestra, a doppia altezza con copertura in legno inclinata indipendente.

La struttura è realizzata in pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato precompresso con isolamento termico a sandwich. Gli elementi orizzontali sono solai autoportanti prefabbricati in calcestruzzo armato precompresso.

La tipologia edilizia, data la destinazione d'uso, si distingue per le ampie aperture vetrate a nastro lungo i fronti principali dei tre piani. Tali serramenti, sprovvisti di schermature esterne, sono realizzati in alluminio con doppio vetro camera e trattamento basso emissivo.



Fig. 6.5 Viste sud e sud-ovest

Caratteristiche degli impianti

La climatizzazione invernale è alimentata da un impianto termico unico centralizzato per l'intero edificio, costituito da un generatore con quattro caldaie murali a condensazione in cascata alimentate a GPL e metano. La distribuzione è a collettori, con tratto di collegamento all'interno dell'intercapedine della parete est, e la regolazione è climatica e a zona. I locali sono scaldati da radiatori in alluminio. L'impianto di climatizzazione estiva è invece assente.

La produzione di acqua calda sanitaria è effettuata tramite sei pannelli solari termici piani posti in copertura, che alimentano un bollitore da 500 litri posto nella centrale termica al piano seminterrato, su cui operano in integrazione anche le caldaie.

È inoltre presente un impianto fotovoltaico, costituito da ottanta moduli che occupano la quasi totalità della copertura piana del blocco principale. Nel 2023, al fine di massimizzare l'autoconsumo dell'utenza scolastica è stata prevista l'installazione di un sistema di accumulo dell'energia prodotta. È stato inoltre progettato l'inserimento di una pompa di calore idronica per ognuno dei tre livelli dell'edificio.

La ventilazione degli ambienti è di tipo naturale.

L'illuminazione è garantita da luci a led di diverse dimensioni in tutti i locali, compresa la palestra, ad eccezione delle cucine, le quali sono servite da plafoniere stagne a neon.



Fig. 6.6 Centrale termica.

Piano seminterrato (scuola secondaria di I grado)

Il piano seminterrato ospita sul lato ovest sei aule, mentre sul lato opposto, separato dal corridoio, si trovano alcune sale multifunzione, i servizi igienici e la sala docenti con il rispettivo spogliatoio. Esternamente presso il lato sud si trova la centrale termica.



Fig. 6.7 Ingresso e Aula 2 e 3.

Piano terra (scuola primaria)

Il piano terra è occupato sul lato ovest da quattro aule e dal laboratorio di pittura, sul lato opposto da un'ulteriore aula, una sala multimediale, un locale insegnanti e i servizi igienici. Il lato sud ospita la palestra a doppia altezza, che dispone anche di un accesso indipendente e degli spogliatoi sul lato est.



Fig. 6.8 Aula 2 e Palestra.

Primo piano (scuola dell'infanzia)

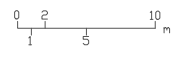
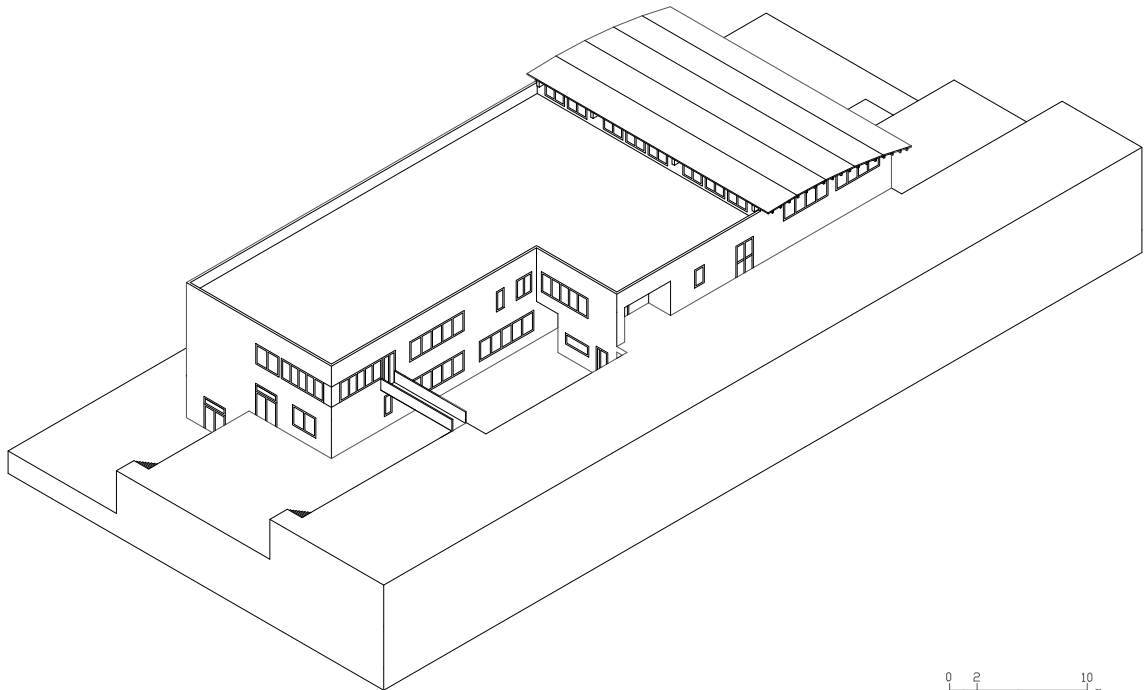
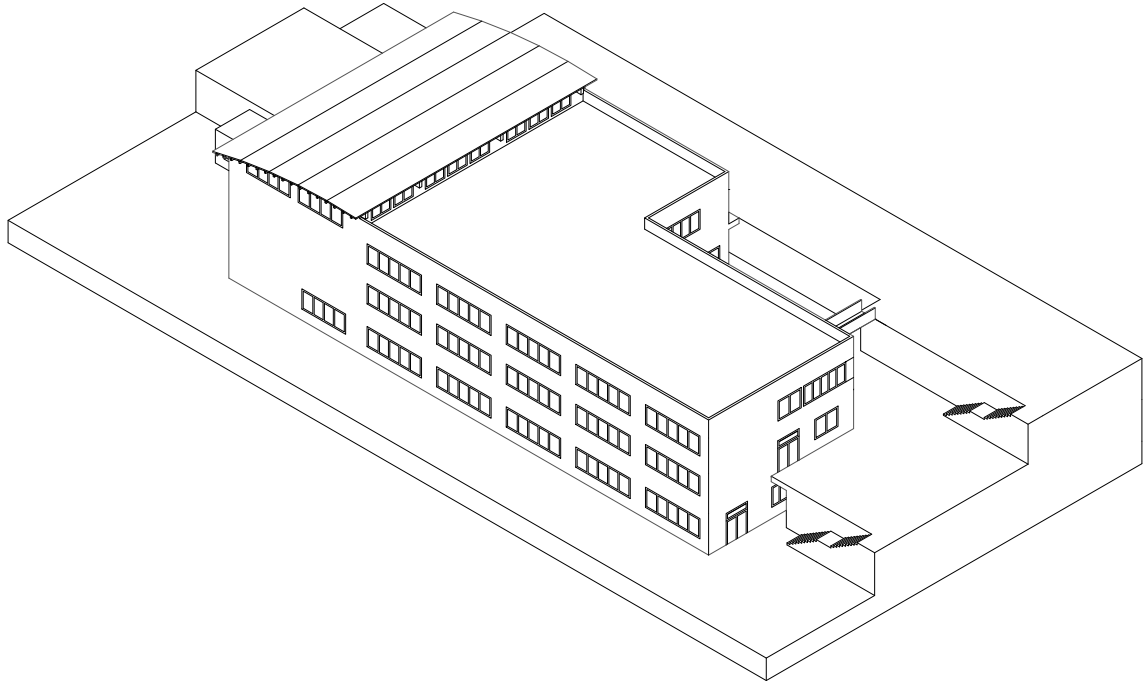
Il primo piano dispone sul lato ovest di tre aule, dotate di servizi igienici, la sala riposo e la mensa comune a tutti i livelli di istruzione. Sul lato opposto si trovano la sala giochi, gli spogliatoi della materna, la sala docenti e ulteriori servizi igienici. Sul lato adiacente alla palestra sono situate la dispensa, le cucine e i servizi relativi.



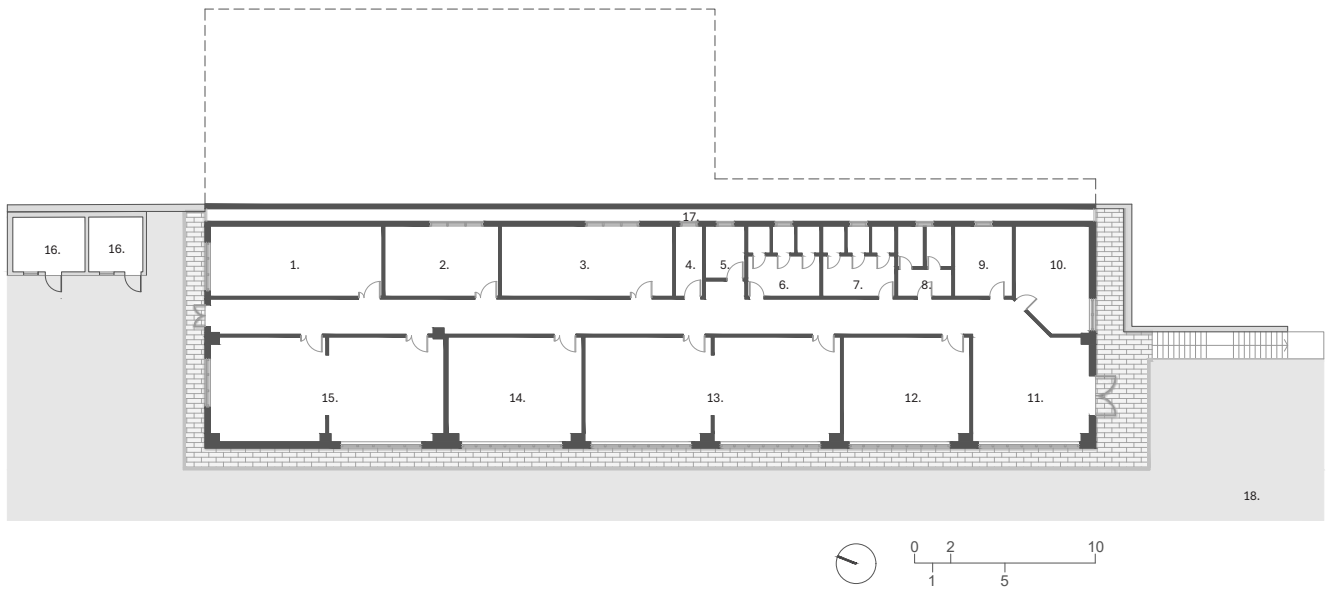
Fig. 6.9 Aula 3 e Mensa.



Fig. 6.10 Sala giochi e Sala riposo.



Assonometrie edificio

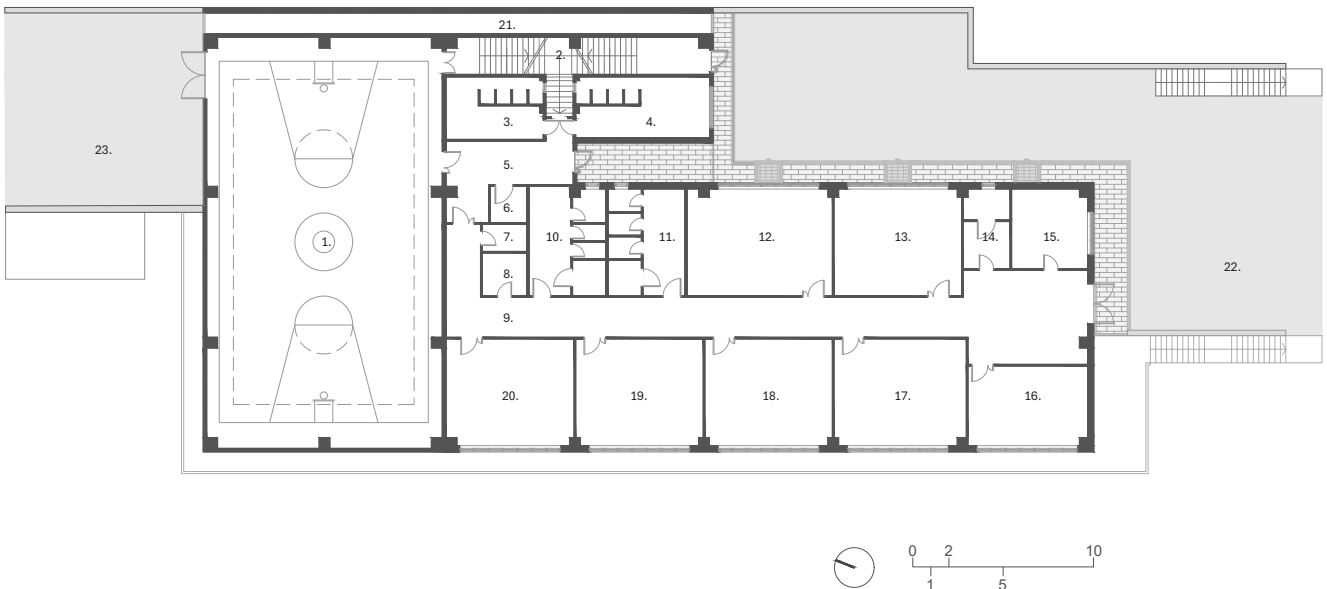


Piano seminterrato (Scuola media)

Sup. utile= 556,03 m²

LEGENDA LOCALI

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| 1. Aula multimediale | 10. Sala docenti |
| 2. Archivio | 11. Corridoio |
| 3. Sala videoconferenze e proiezioni | 12. Aula 1 |
| 4. Ripostiglio | 13. Aula 2 e 3 |
| 5. Bagno | 14. Aula 4 |
| 6. Bagno 1 | 15. Aula 5 e 6 |
| 7. Bagno 2 | 16. Centrale termica |
| 8. Bagno 3 | 17. Intercapedine |
| 9. Spogliatoio | 18. Parcheggio scuolabus |

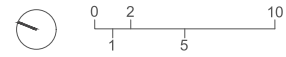
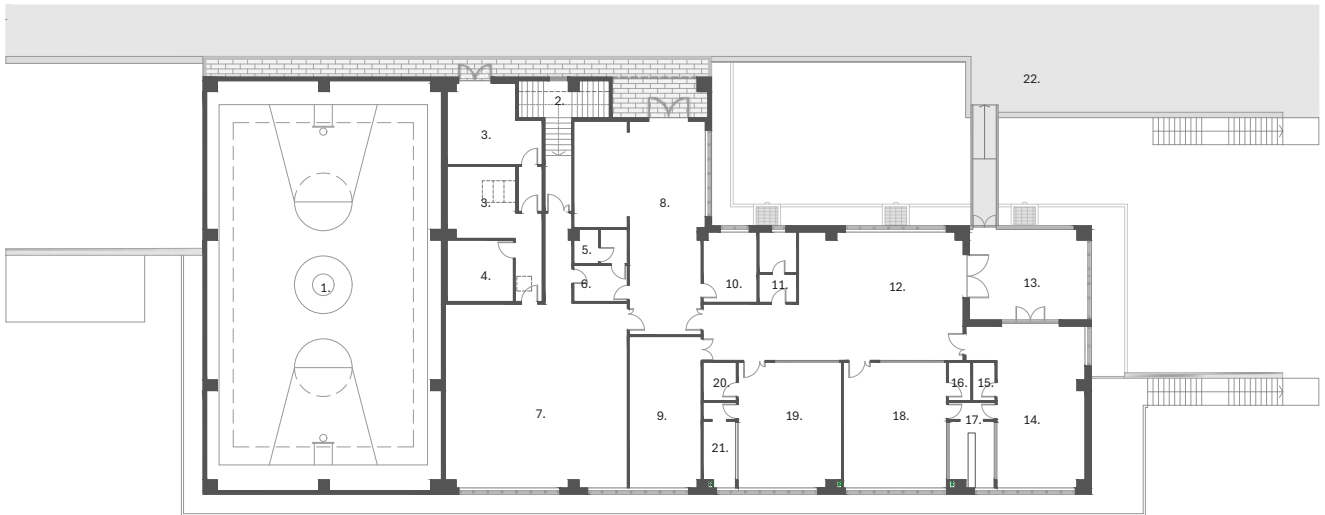


Piano terra (Scuola elementare)

Sup. utile= 904,40 m²

LEGENDA LOCALI

- | | | |
|------------------------------|----------------------------|---------------------|
| 1. Palestra (doppia altezza) | 10. Bagno 1 | 19. Aula 4 |
| 2. Vano scale | 11. Bagno 2 | 20. Aula 5 |
| 3. Spogliatoio palestra 1 | 12. Aula multimediale | 21. Intercapedine |
| 4. Spogliatoio palestra 2 | 13. Aula 1 | 22. Parcheggio auto |
| 5. Corridoio | 14. Bagno 3 | 23. Giardino |
| 6. Bagno | 15. Sala docenti | |
| 7. Ripostiglio | 16. Laboratorio di pittura | |
| 8. Ripostiglio 1 | 17. Aula 2 | |
| 9. Ripostiglio 2 | 18. Aula 3 | |

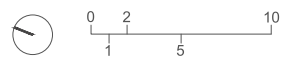
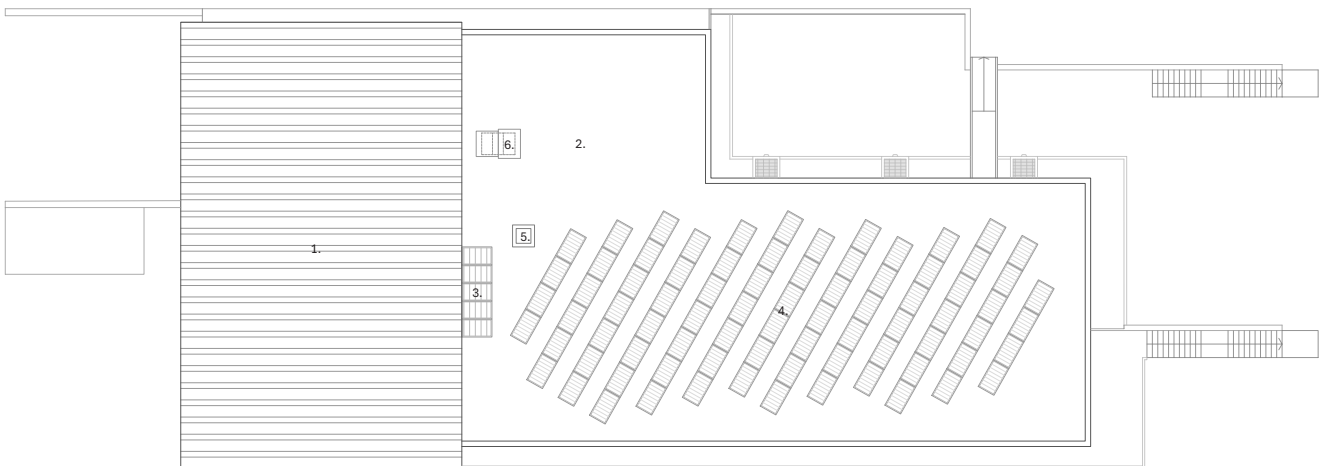


Primo piano (Scuola materna)

Sup. utile= 922,08 m²

LEGENDA LOCALI

- | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------|
| 1. Palestra (doppia altezza) | 10. Sala docenti | 19. Aula 1 |
| 2. Vano scale | 11. Bagno 1 | 20. Ripostiglio |
| 3. Cucina | 12. Sala giochi | 21. Bagno 2 |
| 4. Dispensa | 13. Aula 4 | 22. Parcheggio auto |
| 5. Bagno cucina | 14. Aula 3 | |
| 6. Spogliatoio cucina | 15. Ripostiglio 2 | |
| 7. Mensa | 16. Ripostiglio 1 | |
| 8. Atrio | 17. Bagno 3 | |
| 9. Sala riposo | 18. Aula 2 | |

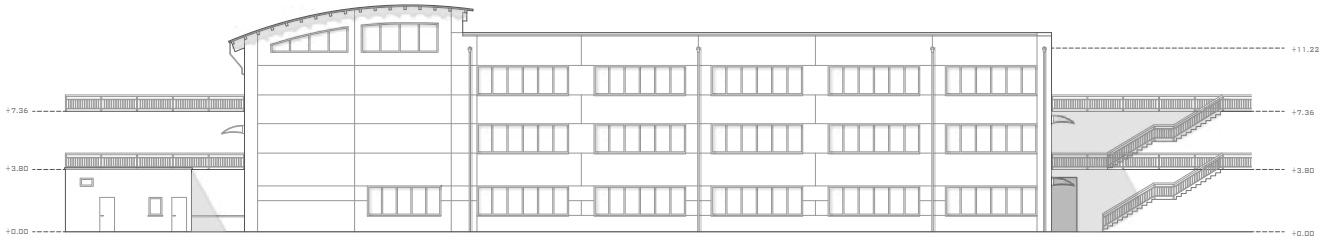


Copertura

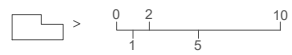
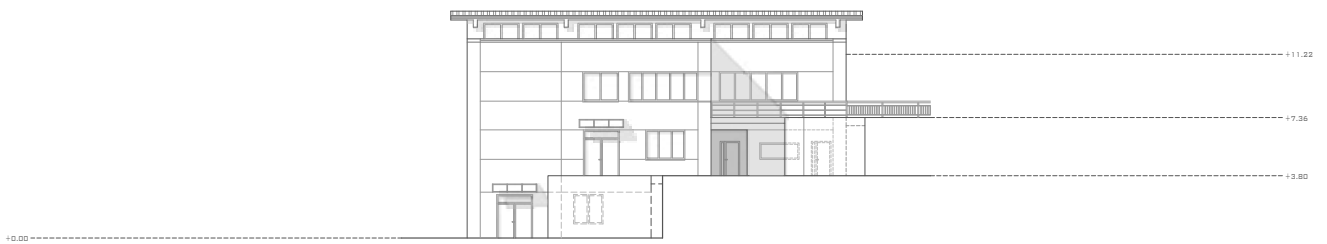
Sup.calpestabile= 606,36 m²

LEGENDA

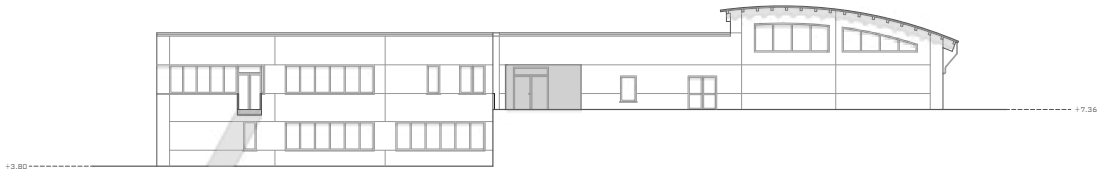
1. Copertura palestra
2. Copertura piana
3. Impianto solare termico
4. Impianto fotovoltaico
5. Botola
6. Lucernaio



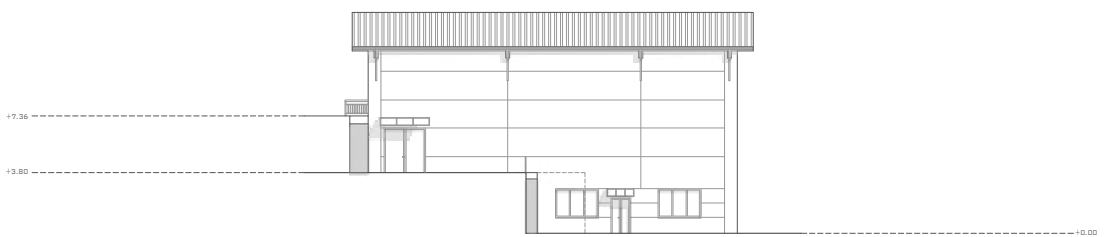
Prospetto sud-ovest



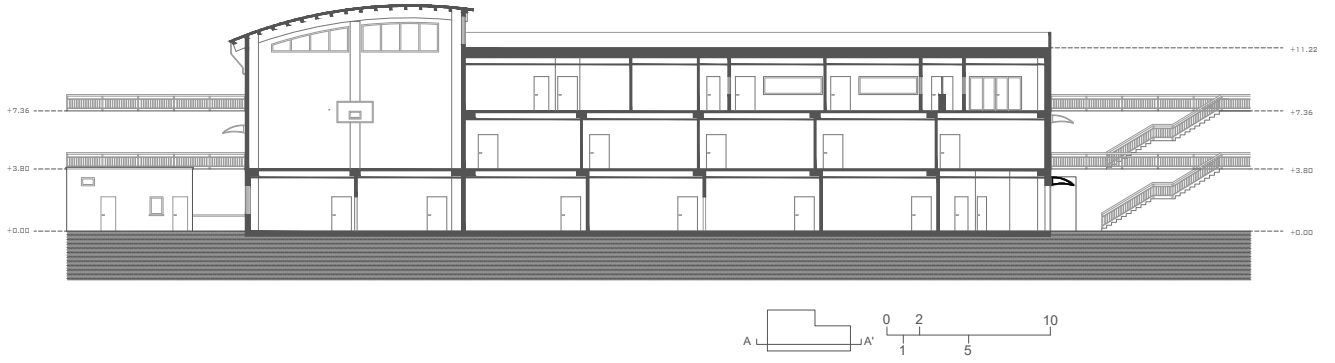
Prospetto sud-est



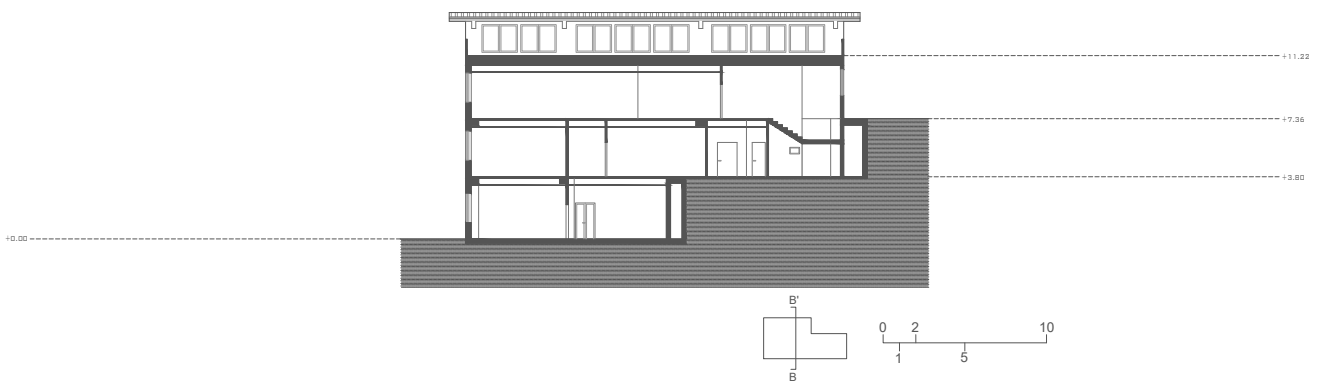
Prospetto nord-est



Prospetto nord-ovest



Sezione longitudinale A - A'



Sezione trasversale B - B'

6.3 Stato di fatto

Viene analizzato l'edificio allo stato di fatto al fine di definirne il modello energetico. Attraverso la compilazione dei vari moduli del software si ottiene la simulazione delle prestazioni energetiche dell'edificio allo stato attuale. Il programma presenta i dati inseriti e i risultati di calcolo ottenuti, che costituiranno la base di riferimento per le successive valutazioni di intervento e per il confronto con gli scenari di miglioramento energetico.

6.3.1 Dati generali

In questa prima fase del lavoro vengono definiti tutti i dati basilari del progetto: viene specificata la destinazione d'uso, la localizzazione dell'edificio e i relativi dati climatici, si stabilisce il metodo di calcolo, secondo Normativa nazionale o regolamenti regionali, e si inseriscono le caratteristiche principali dell'edificio.

Dati climatici

Una volta selezionato il comune di riferimento, vengono visualizzate le informazioni climatiche relative alla località, previste dal D.P.R. 412/1993 e aggiornati secondo la UNI 10349, che determinano le condizioni di calcolo per i fabbisogni energetici, la potenza termica di progetto degli impianti e le verifiche di legge, per i quali il software applica automaticamente i parametri di riferimento normativi corretti.

COMUNE	Stella
PROVINCIA	SV
CODICE ISTAT	9058
CODICE CATASTALE	I946
REGIONE	Liguria
ALTITUDINE	266m
LATITUDINE	49°23'39".84
LONGITUDINE	08°29'56".40
GRADI GIORNO	1.864°C
ZONA CLIMATICA	D
GIORNI DI RISCALDAMENTO	166
ZONA DI VENTO	2
TEMPERATURA ESTERNA DI PROGETTO	invernale -1,3°C estiva 28,8°C
UMIDITÀ RELATIVA INTERNA	invernale 50% estiva 50%
ZONA GEOGRAFICA	Italia Settentrionale Cispadana
PROVINCE DI RIFERIMENTO	Savona, Genova
COEFFICIENTE DI SCHERMATURA DEL VENTO	Sito riparato (centro città)
CONDUTTIVITÀ DEL TERRENO	2,0 W/mK
IRRADIANZA SUL PIANO ORIZZONTALE NEL MESE DI MASSIMA INSOLAZIONE	294,0 W/m ²

Fig. 6.11 Dati località.

Temperatura esterna media mensile [°C]												
Gen	Feb	Mar	Apr	Mai	Gi	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
9,1	10,4	11,6	14,3	17,9	21,4	22,3	22,3	20,0	16,1	11,5	5,0	
Irradiazione giornaliera media mensile sul piano orizzontale [MJ/m ²]												
Tipo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mai	Gi	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Diretta	2,8	5,0	7,6	10,6	11,3	13,8	16,5	13,3	11,0	7,8	4,3	3,2
Diffusa	2,1	3,1	5,1	6,7	9,0	9,5	8,9	8,0	5,0	3,9	2,6	2,0
	4,9	8,1	12,7	17,3	20,3	23,3	25,4	21,3	16,8	11,7	6,9	5,2
Pressione parziale di vapore esterna [Pa]												
Gen	Feb	Mar	Apr	Mai	Gi	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
818	826	956	1.186	1.416	1.759	1.693	1.816	1.305	1.082	781	498	
velocità del vento [m/s]												
Gen	Feb	Mar	Apr	Mai	Gi	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
5,3	4,4	3,8	3,1	2,8	2,2	2,4	2,9	4,8	5,3	6,0	6,4	

Fig. 6.12 Dati climatici mensili.

Informazioni generali

La sezione informazioni generali richiede l'inserimento dei dati identificativi dell'immobile, la tipologia di verifica richiesta e la classificazione dell'edificio, da cui dipendono le temperature di progetto.

Progetto per la realizzazione di:

Comune: Provincia:

Indirizzo:

Civico: CAP:

Tipo verifica:

Legge 10 Detrazioni fiscali

Tipo calcolo:

Diagnosi energetica

Titolo abilitativo:

m²

Data:

Classificazione edificio:

Temperatura di progetto invernale: °C

Temperatura di progetto estiva: °C

Fig. 6.13 Informazioni generali.

Metodo di calcolo

La sezione definisce l'approccio normativo con cui vengono effettuate le simulazioni energetiche dell'edificio. In particolare, è possibile scegliere il metodo conforme alle norme UNI/TS 11300, che rappresenta il riferimento nazionale per la determinazione dei fabbisogni e delle prestazioni energetiche (secondo D.M. 26/06/2015). Il software consente anche di applicare il metodo regionale della Liguria, che integra le specifiche indicazioni e i limiti prestazionali stabiliti dalla normativa regionale. Si inserisce la data di riferimento per individuare la norma in vigore allo stato attuale. La scelta del metodo influisce sul regime di calcolo e determina le modalità con cui il software valuta i fabbisogni energetici.

Normativa di calcolo / verifica

Data di applicazione verifiche: 27/10/2025

Normativa: Nazionale - D.Lgs 192/2005 - UNI/TS 11300

Attiva metodo dinamico orario Usa bozza decreto requisiti minimi

Tipo di intervento

Edificio: Ristrutturazione importante di primo livello

Impianto: Nuova installazione o ristrutturazione di impianti termici in edifici esistenti

Ristrutturazione integrale di edificio con superficie utile superiore a 1000 m²

Verifica divori e strutture esterne di locali non climatizzati adiacenti

Metodo di calcolo

Scambi termico: Semplificato (in base alla tipologia di struttura e al tipo di scambio)

Capacità termica: Semplificato - UNI/TS 11300 prospetto 22

Carichi esterni: Nessuno

Modalità di inserimento dati: Inserimento dati tramite CAD

Uso livello medio del terreno

Modalità di input superfici dipendenti: Superfici esterne

Fig. 6.14 Metodo di calcolo.

Caratteristiche edificio

Questo nodo serve a definire in modo più dettagliato gli elementi dell'edificio che influenzano il fabbisogno termico e le sue prestazioni. Vengono definiti i parametri per il calcolo della capacità termica secondo il metodo semplificato (UNI/TS 11300 prospetto 22) precedentemente impostato.

L'edificio è situato in un centro storico

edificio pubblico edificio ad uso pubblico

Telescaldamento

L'edificio è ad una distanza inferiore a 1000 m da una rete di telescaldamento o è in presenza di progetti approvati per la realizzazione di tale rete.

Calcolo capacità termica interna

Intonaco: Mista

Isolamento: Assente / esterno

Pareti interne: Miste

Pavimenti: Piastrelle

Numero piani: 3

Capacità termica interna: 165,0 kJ/m²K

Conversione in energia primaria

Fattore di conversione dell'energia elettrica non rinnovabile: 1,950 kWh_p/kWh_e

Fattore di conversione dell'energia elettrica rinnovabile: 0,470 kWh_p/kWh_e

Rapporto tra produzione elettrica e energia primaria: 0,400

Fig. 6.15 Caratteristiche edificio.

6.3.2 Strutture

Pareti

Si procede successivamente con l'inserimento dei dati relativi ai componenti architettonici che costituiscono lo stato di fatto dell'edificio. La sezione Strutture è ulteriormente suddivisa in un menù ad albero che presenta le seguenti voci:

- Pareti
- Solai
- Vetrate
- Ponti termici
- Porte
- Finestre

Gli elementi verticali che compongono l'edificio sono piuttosto omogenei tra loro per materiale principale e spessore. È stato necessario analizzare dieci tipologie di pareti, che possono essere raggruppate in tre categorie:

- Pareti esterne in pannelli sandwich di calcestruzzo prefabbricati;
- Pareti interne in pannelli sandwich di calcestruzzo prefabbricati;
- Pilastri in calcestruzzo armato.

Per ogni componente opaco verticale bisogna per prima cosa determinare la tipologia di parete; dunque, va specificato se esso separa due locali, riscaldati o meno, oppure confina con un ambiente esterno o con il terreno.

Successivamente si procede a inserire la stratigrafia dall'interno verso l'esterno, importando i materiali dall'archivio di base o dall'archivio personale e stabilendone lo spessore.

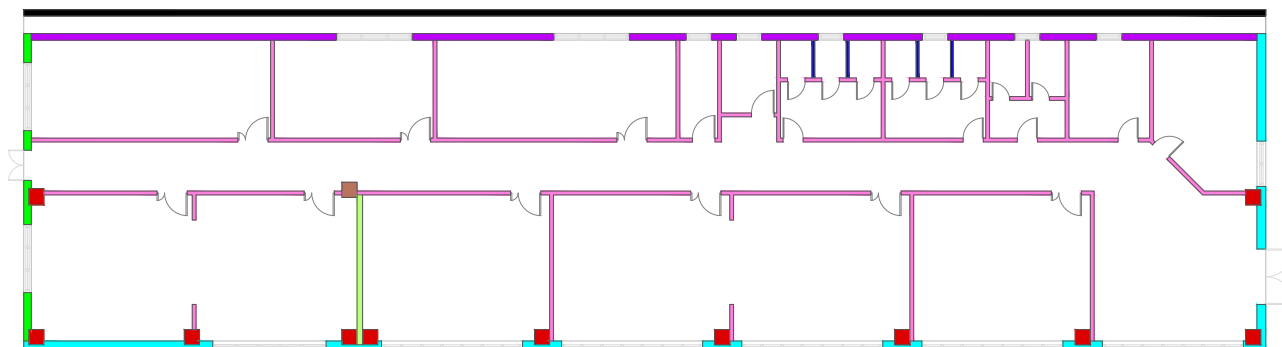
Il software calcola in automatico i risultati ed effettua le verifiche termoigrometriche e del rischio di formazione di muffa o di condensa interstiziale.

Nella successiva sezione, il nodo Edifici, sarà possibile effettuare il tracciamento di suddette pareti sul riferimento CAD importato. Dopo l'inserimento degli elementi strutturali nel Layout, per ogni struttura verticale nel menu Parametri parete compare una sezione per i fattori di riduzione per l'ombreggiatura, in cui si inseriscono eventuali ostruzioni esterne, oggetti verticali o orizzontali che inficino gli apporti solari.

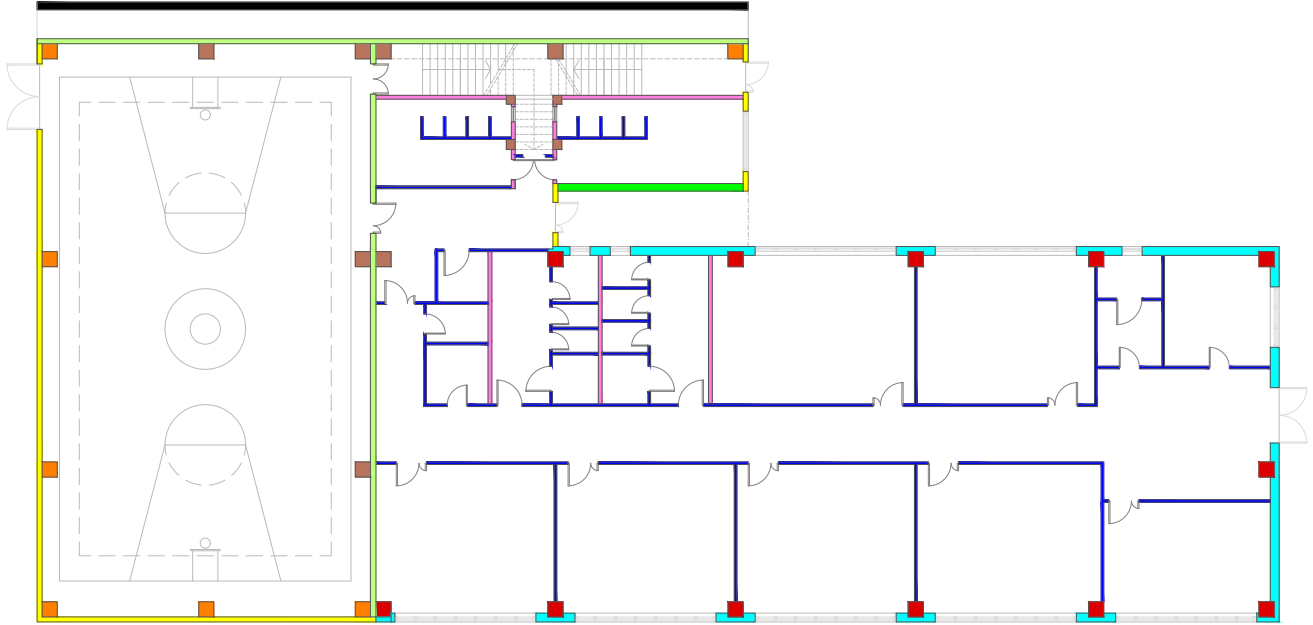
ABACO STRUTTURE OPACHE VERTICALI

PARETI ESTERNE	TIPOLOGIA	SPESSORE	TRASMITTANZA (W/m²K)
PE prefabbricata 35	Pannelli prefabbricati di calcestruzzo	35 cm	0,222
PE prefabbricata 30	Pannelli prefabbricati di calcestruzzo	30 cm	0,223
PE prefabbricata 20	Pannelli prefabbricati di calcestruzzo	20 cm	0,390
PE 15	Laterizi forati	15 cm	1,930
PARETI INTERNE	TIPOLOGIA	SPESSORE	TRASMITTANZA (W/m²K)
PI prefabbricata 35	Pannelli prefabbricati di calcestruzzo	35 cm	0,217
PI verso intercapedine 26	Blocchi forati calcestruzzo	26 cm	0,500
PI prefabbricata 20	Pannelli prefabbricati di calcestruzzo	20 cm	0,373
PI prefabbricata 15	Pannelli prefabbricati di calcestruzzo	15 cm	0,648
PI prefabbricata 10	Pannelli prefabbricati di calcestruzzo	10 cm	2,313
PILASTRI	TIPOLOGIA	SPESSORE	TRASMITTANZA (W/m²K)
Pilastro su PE 35	Calcestruzzo armato	80 cm	0,357
Pilastro su PE 20	Calcestruzzo armato	80 cm	0,324
Pilastro su PI 20	Calcestruzzo armato	80 cm	0,315

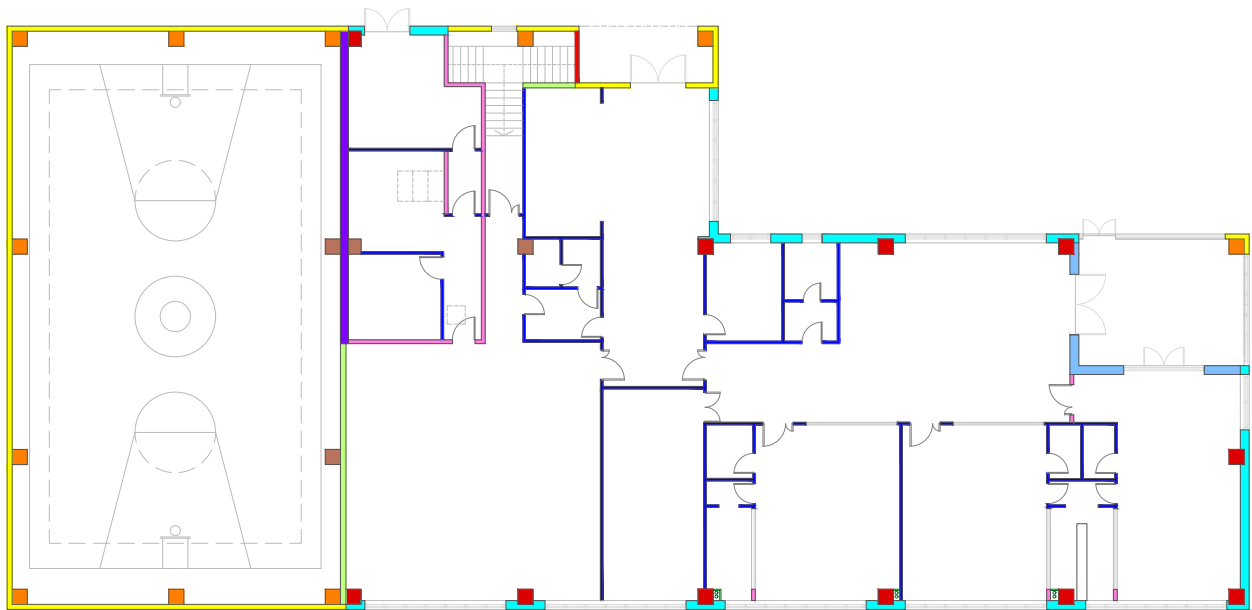
Pianta piano seminterrato (scuola media)



Pianta piano terra (scuola elementare)



Pianta primo piano (scuola materna)



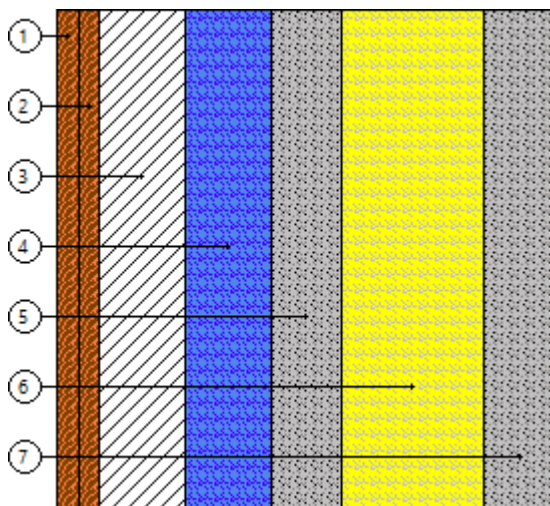
CARATTERISTICHE TERMOIGROMETRICHE

PE35 Parete prefabbricata 35 cm

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	$\delta_p \times 10^{12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Cartongesso in lastre	1,50	0,210		900	24,125	0,071
2	Cartongesso in lastre	1,50	0,210		900	24,125	0,071
3	lana di roccia	6,00	0,037		70	1	1,622
4	Aria intercapedine flusso orizzontale 60 mm	6,00		5,423	1	193	0,184
5	Calcestruzzo generico per pareti interne o esterne protette (1400 kg/m ³)	5,00	0,580		1.400	2,01	0,086
6	pannello isolante polistirolo 30kg/mc	10,00	0,045		30	60,312	2,222
7	Calcestruzzo generico per pareti interne o esterne protette (1400 kg/m ³)	5,00	0,580		1.400	2,01	0,086
Spessore totale		35,00					

		Resistenza superficiale interna	0,130
		Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m ² K]	0,222	Resistenza termica totale	4,514
Trasmittanza termica periodica [W/m ² K]	0,033		
Sfasamento [h]	9,39		
Smorzamento	0,148		
Capacità termica interna [kJ/m ² K]	25,862		

Massa superficiale: 174,274 kg/m²

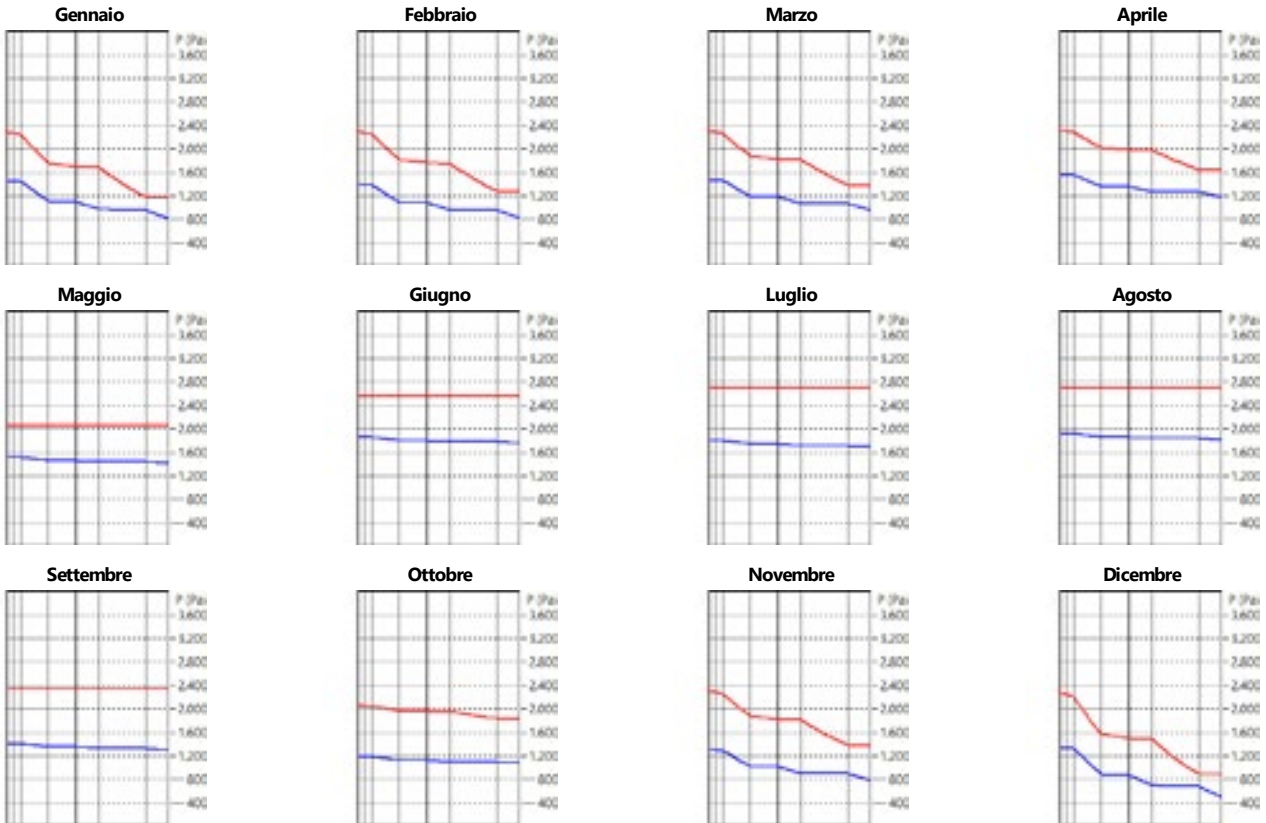


VERIFICA TERMOIGROMETRICA

PE35 Parete prefabbricata 35 cm

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	μ	Spessore [cm]	R [m ² K/W]
1	Cartongesso in lastre	8,0	1,50	0,071
2	Cartongesso in lastre	8,0	1,50	0,071
3	lana di roccia	193,0	6,00	1,622
4	Aria intercapedine flusso orizzontale 60 mm	1,0	6,00	0,184
5	Calcestruzzo generico per pareti interne o esterne protette (1400 kg/m ³)	96,0	5,00	0,086
6	pannello isolante polistirolo 30kg/mc	3,2	10,00	2,222
7	Calcestruzzo generico per pareti interne o esterne protette (1400 kg/m ³)	96,0	5,00	0,086
			Resistenza superficiale interna	0,130
			Resistenza superficiale esterna	0,040
			Totale	35,00
				4,514

Mese	T _i [°C]	P _i [Pa]	T _e [°C]	P _e [Pa]	T _{si} [°C]	T _{si,min} [°C]	f _{rsi,min}	g _c [kg/m ²]	M _a [kg/m ²]
Gennaio	20,0	1451	9,1	818	19,4	16,0	0,6298	0,00000	0,00000
Febbraio	20,0	1396	10,4	826	19,5	15,4	0,5158	0,00000	0,00000
Marzo	20,0	1467	11,6	956	19,5	16,1	0,5393	0,00000	0,00000
Aprile	20,0	1564	14,3	1186	19,7	17,1	0,4980	0,00000	0,00000
Maggio	18,0	1516	17,9	1416	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Giugno	21,4	1859	21,4	1759	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Luglio	22,3	1798	22,3	1698	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Agosto	22,3	1916	22,3	1816	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Settembre	20,0	1405	20,0	1305	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Ottobre	18,0	1182	16,1	1082	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Novembre	20,0	1296	11,5	781	19,5	14,2	0,3181	0,00000	0,00000
Dicembre	20,0	1332	5,0	498	19,2	14,6	0,6421	0,00000	0,00000



f_{Rsi} Struttura: 0,946

La struttura non presenta rischi di formazione muffe.

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

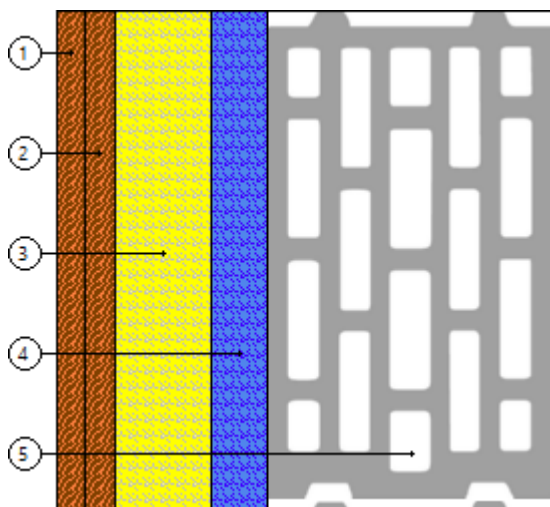
CARATTERISTICHE TERMOIGROMETRICHE

PI26 Parete verso intercapedine blocchetti 26 cm (piano seminterrato)

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	$\delta_p \times 10^{12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Cartongesso in lastre	1,50	0,210		900	24,125	0,071
2	Cartongesso in lastre	1,50	0,210		900	24,125	0,071
3	pannello isolante polistirolo 30kg/mc	5,00	0,045		30	60,312	1,111
4	Aria intercapedine flusso orizzontale 30 mm	3,00		5,423	1	193	0,184
5	blocchi forati calcestruzzo spessore 20-30	15,00	0,500		1.400	9,019	0,300
Spessore totale		26,00					

		Resistenza superficiale interna	0,130
		Resistenza superficiale esterna	0,130
Trasmittanza termica [W/m ² K]	0,500	Resistenza termica totale	1,998
Trasmittanza termica periodica [W/m ² K]	0,141		
Sfasamento [h]	8,53		
Smorzamento	0,281		
Capacità termica interna [kJ/m ² K]	26,609		

Massa superficiale: 238,537 kg/m²

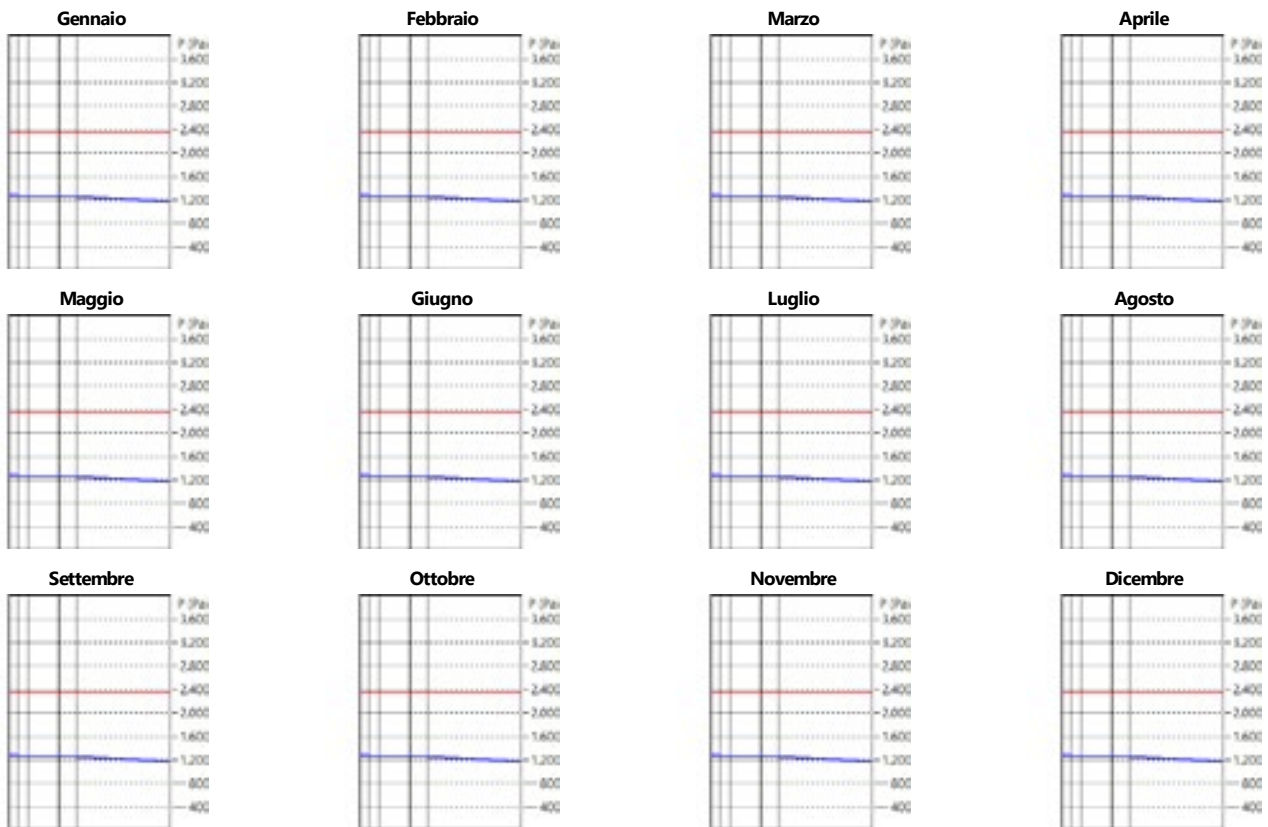


VERIFICA TERMOIGROMETRICA

PI26 Parete verso intercapedine blocchetti 26 cm (piano seminterrato)

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	μ	Spessore [cm]	R [m ² K/W]
1	Cartongesso in lastre	8,0	1,50	0,071
2	Cartongesso in lastre	8,0	1,50	0,071
3	pannello isolante polistirolo 30kg/mc	3,2	5,00	1,111
4	Aria intercapedine flusso orizzontale 30 mm	1,0	3,00	0,184
5	blocchi forati calcestruzzo spessore 20-30	21,4	15,00	0,300
			Resistenza superficiale interna	0,130
			Resistenza superficiale esterna	0,130
			Totale	26,00
				1,998

Mese	T _i [°C]	P _i [Pa]	T _e [°C]	P _e [Pa]	T _{si} [°C]	T _{si,min} [°C]	f _{Rsi,min}	g _c [kg/m ²]	M _a [kg/m ²]
Gennaio	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000
Febbraio	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000
Marzo	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000
Aprile	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000
Maggio	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Giugno	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Luglio	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Agosto	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Settembre	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Ottobre	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Novembre	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000
Dicembre	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000



f_{Rsi} Struttura: 0,882

La struttura non presenta rischi di formazione muffe.

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

Solai

I componenti opachi orizzontali che costituiscono l'immobile possono essere suddivisi in tre categorie principali, con materiali e stratigrafie differenti:

- Solaio di basamento
- Solai interpiano (indefinito, ascendente, discendente)
- Solai di copertura

Le strutture opache orizzontali sono tutte accumulate dall'assenza di materiali isolanti all'interno della stratigrafia, ad eccezione della copertura piana. Sono stati analizzati otto diversi elementi orizzontali: i materiali principali identificati sono per i solai di basamento, i solai interpiano e la copertura piana il calcestruzzo alleggerito e il calcestruzzo armato precompresso alveolare (solaio RAP), mentre la copertura indipendente della palestra è realizzata in legno di abete.

Come primo passaggio, per ogni componente opaco orizzontale si specifica la tipologia di solaio e la eventuale direzione del flusso. Si procede successivamente, alla stessa maniera delle pareti, all'inserimento dall'alto verso il basso dei materiali che ne costituiscono la stratigrafia.

Nella sezione Edifici/Layout è possibile inserire i dati degli elementi orizzontali e inoltre definire i parametri di ciascun locale.

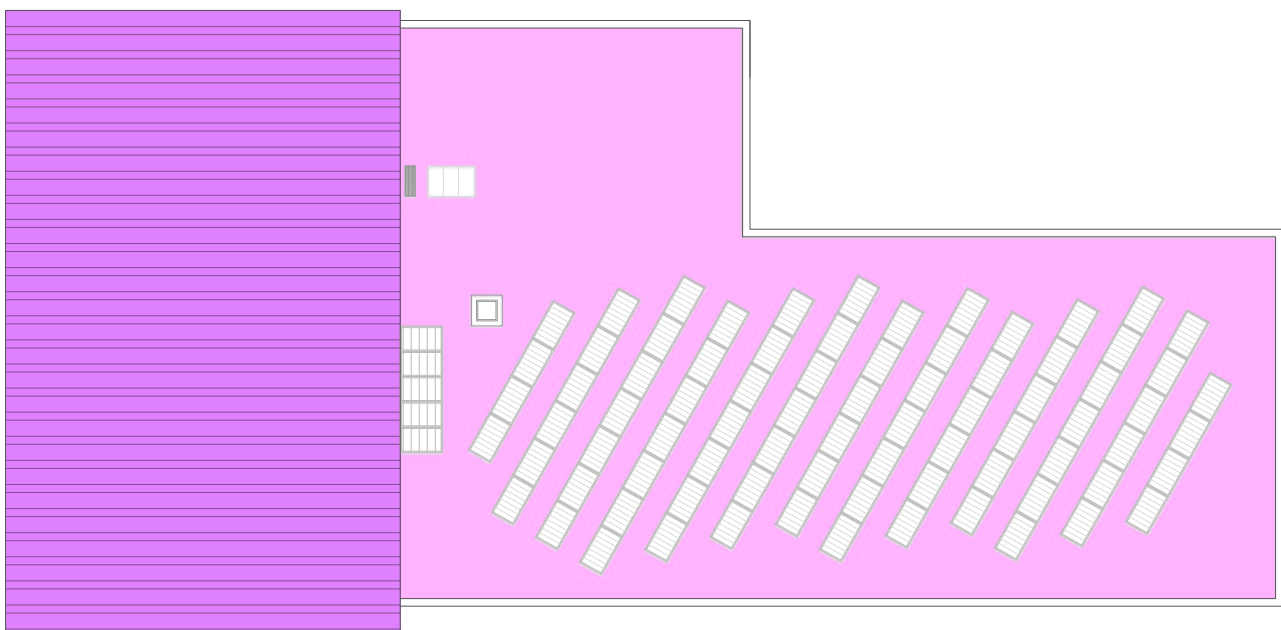
ABACO STRUTTURE OPACHE O'RIZZONTALI

SOLAI BASAMENTO	TIPOLOGIA	SPESSORE	TRASMITTANZA (W/m ² K)
Basamento seminterrato	Calcestruzzo alleggerito	21 cm	1,531
Basamento piano terra	Solaio RAP	10,5 cm	3,407

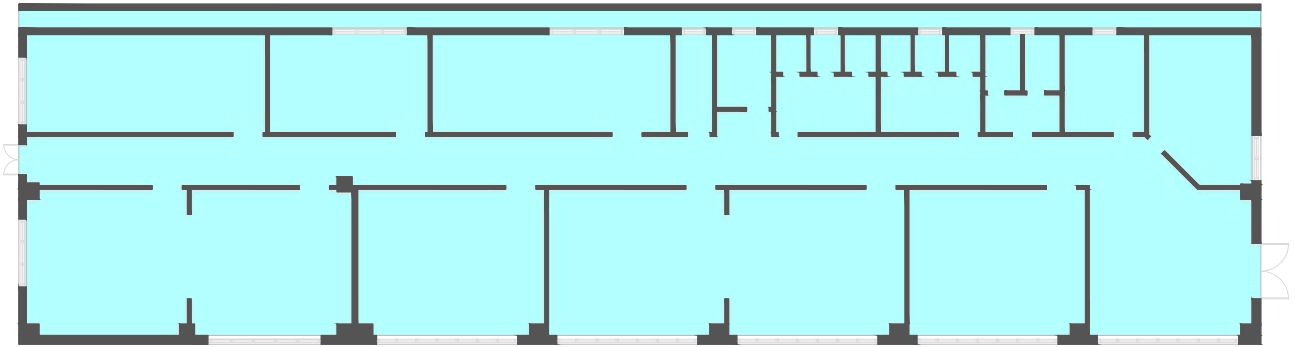
SOLAI INTERMEDI	TIPOLOGIA	SPESSORE	TRASMITTANZA (W/m ² K)
Solaio indefinito	Solaio RAP	10,5 cm	2,911
Solaio discendente	Solaio RAP	10,5 cm	2,361
Solaio ascendente	Solaio RAP	10,5 cm	2,527

SOLAI COPERTURA	TIPOLOGIA	SPESSORE	TRASMITTANZA (W/m ² K)
Tetto piano terra	Solaio RAP	10,5 cm	4,474
Copertura legno	Legno abete	21 cm	1,635
Copertura predalles	Solaio RAP	68,2 cm	0,199

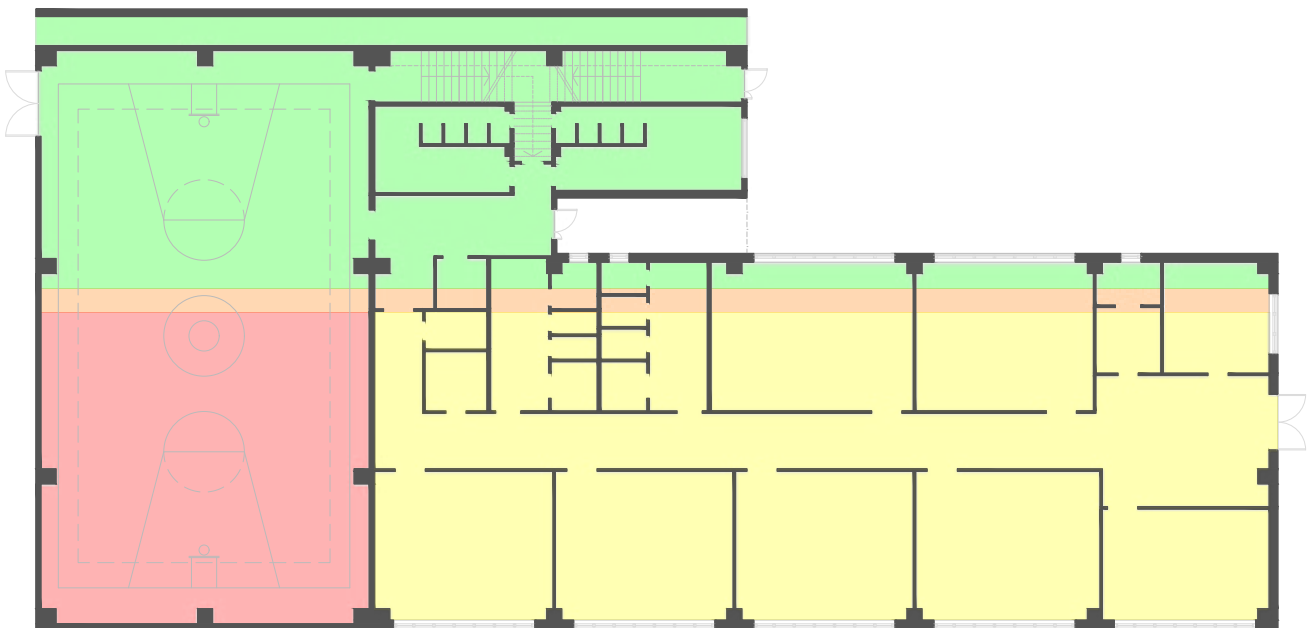
Pianta copertura



Pianta piano seminterrato (scuola media)



Pianta piano terra (scuola elementare)



Pianta primo piano (scuola materna)



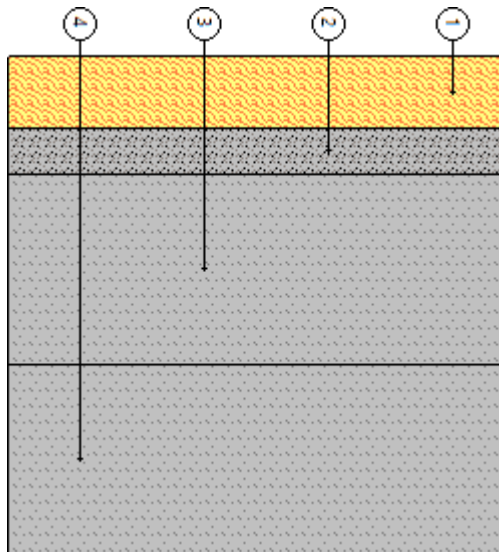
CARATTERISTICHE TERMOIGROMETRICHE

Solaio indefinito

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	$\delta_p \times 10^{12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Piastrelle in ceramica / porcellana	1,50	1,300		2.300	0	0,012
2	Malta di cemento	1,00	1,400		2.000	8,773	0,007
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito (1600 kg/m ³)	4,00	1,080		1.600	1,93	0,037
4	Solaio RAP	4,00	1,440		1.097	9,019	0,028
Spessore totale		10,50					

		Resistenza superficiale interna	0,130
		Resistenza superficiale esterna	0,130
Trasmittanza termica [W/m ² K]	2,911	Resistenza termica totale	0,343
Trasmittanza termica periodica [W/m ² K]	2,244		
Sfasamento [h]	3,15		
Smorzamento	0,771		
Capacità termica interna [kJ/m ² K]	62,123		

Massa superficiale: 142,380 kg/m²



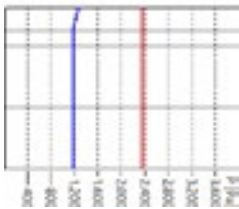
VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Solaio indefinito

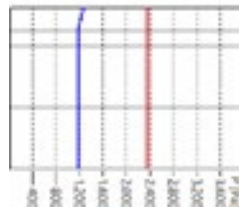
N	Descrizione dall'alto verso il basso	μ	Spessore [cm]	R [m ² K/W]
1	Piastrelle in ceramica / porcellana	1.000.000,0	1,50	0,012
2	Malta di cemento	22,0	1,00	0,007
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito (1600 kg/m ³)	100,0	4,00	0,037
4	Solaio RAP	21,4	4,00	0,028
			Resistenza superficiale interna	0,130
			Resistenza superficiale esterna	0,130
			Totale	10,50
				0,343

Mese	T _i [°C]	P _i [Pa]	T _e [°C]	P _e [Pa]	T _{si} [°C]	T _{si,min} [°C]	f _{Rsi,min}	g _c [kg/m ²]	M _a [kg/m ²]
Gennaio	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000
Febbraio	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000
Marzo	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000
Aprile	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000
Maggio	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Giugno	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Luglio	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Agosto	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Settembre	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Ottobre	20,0	1268	20,0	1168	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Novembre	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000
Dicembre	20,0	1268	20,0	1168	20,0	13,9	0,0000	0,00000	0,00000

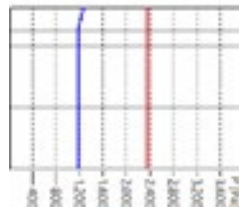
Gennaio



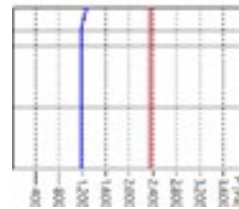
Febbraio



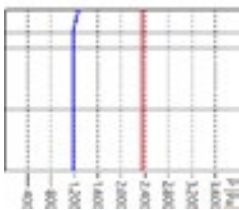
Marzo



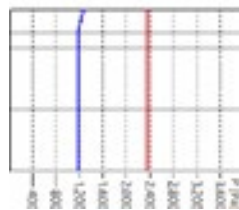
Aprile



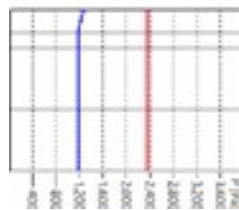
Maggio



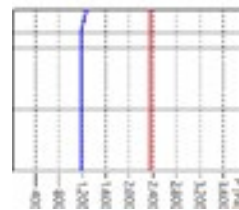
Giugno



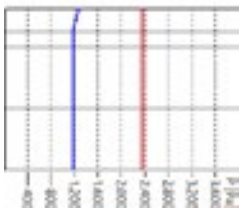
Luglio



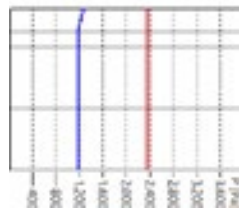
Agosto



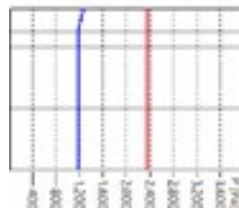
Settembre



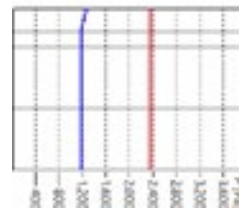
Ottobre



Novembre



Dicembre



f_{Rsi} Struttura: 0,461

La struttura non presenta rischi di formazione muffe.

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

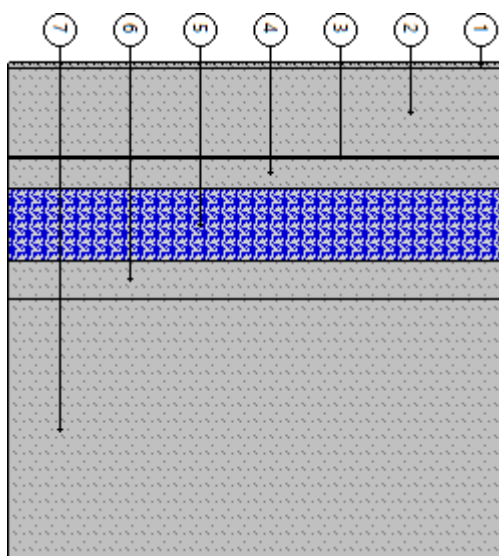
CARATTERISTICHE TERMOIGROMETRICHE

Copertura predalles (primo piano)

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	$\delta_p \times 10^{12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Bitume	0,80	0,170		1.200	0,004	0,047
2	GMIX S massetto	12,00	0,076		550	15,078	1,579
3	Bitume	0,40	0,170		1.200	0,004	0,024
4	Massetto in calcestruzzo alleggerito (1600 kg/m ³)	4,00	1,080		1.600	1,93	0,037
5	Polistirene espanso estruso, con pelle (30 kg/m ³)	10,00	0,034		30	3,217	2,941
6	Calcestruzzo armato (con 2% di acciaio)	5,00	2,500		2.400	1,485	0,020
7	Solaio RAP	36,00	1,440		1.097	9,019	0,250
Spessore totale		68,20					

		Resistenza superficiale interna	0,100
		Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m ² K]	0,199	Resistenza termica totale	5,038
Trasmittanza termica periodica [W/m ² K]	0,002		
Sfasamento [h]	21,12		
Smorzamento	0,010		
Capacità termica interna [kJ/m ² K]	76,510		

Massa superficiale: 662,320 kg/m²



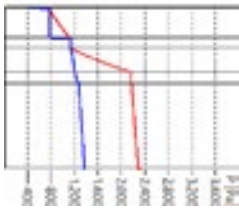
VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Copertura predalles (primo piano)

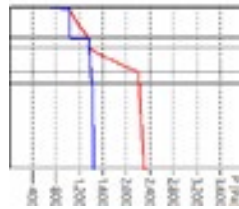
N	Descrizione dall'alto verso il basso	μ	Spessore [cm]	R [m ² K/W]
1	Bitume	50.000,0	0,80	0,047
2	GMIX S massetto	12,8	12,00	1,579
3	Bitume	50.000,0	0,40	0,024
4	Massetto in calcestruzzo alleggerito (1600 kg/m ³)	100,0	4,00	0,037
5	Polistirene espanso estruso, con pelle (30 kg/m ³)	60,0	10,00	2,941
6	Calcestruzzo armato (con 2% di acciaio)	130,0	5,00	0,020
7	Solaio RAP	21,4	36,00	0,250
Resistenza superficiale interna				0,100
Resistenza superficiale esterna				0,040
Totale				5,038

Mese	T _i [°C]	P _i [Pa]	T _e [°C]	P _e [Pa]	T _{si} [°C]	T _{si,min} [°C]	f _{rsi,min}	g _c [kg/m ²]	M _a [kg/m ²]
Dicembre	20,0	1365	3,0	433	19,2	15,0	0,7063	0,00563	0,00563
Gennaio	20,0	1445	7,1	714	19,4	15,9	0,6822	0,00186	0,00749
Febbraio	20,0	1389	8,4	722	19,4	15,3	0,5936	-0,00164	0,00584
Marzo	20,0	1445	9,6	837	19,5	15,9	0,6060	-0,00233	0,00351
Aprile	20,0	1517	12,3	1041	19,6	16,7	0,5660	-0,00070	0,00282
Maggio	18,0	1347	15,9	1247	0,0	0,0	0,0000	-0,00177	0,00105
Giugno	19,4	1654	19,4	1554	0,0	0,0	0,0000	-0,00105	0,00000
Luglio	20,3	1602	20,3	1502	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Agosto	20,3	1707	20,3	1607	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Settembre	18,0	1252	18,0	1152	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Ottobre	18,0	1052	14,1	952	0,0	0,0	0,0000	0,00000	0,00000
Novembre	20,0	1297	9,5	683	19,5	14,2	0,4488	0,00000	0,00000

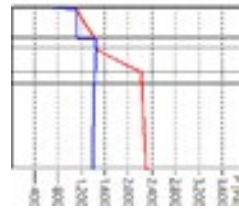
Dicembre



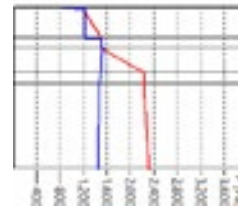
Gennaio



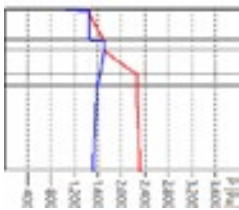
Febbraio



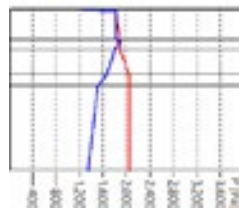
Marzo



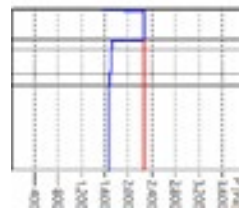
Aprile



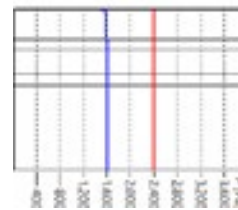
Maggio



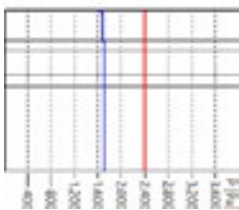
Giugno



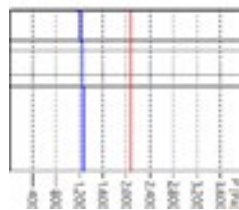
Luglio



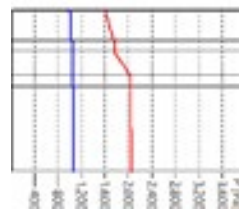
Agosto



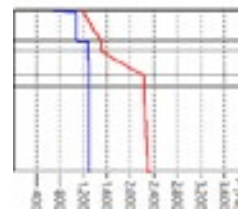
Settembre



Ottobre



Novembre



f_{Rsi} Struttura: 0,952

La struttura non presenta rischi di formazione muffe.

La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale (inizia a dicembre).

La quantità di condensa massima (a gennaio) è di 0,00749 kg/m².

La condensa evapora completamente nei mesi successivi.

Componenti finestrati

L'edificio, necessitando di una grande quantità di luce naturale in accordo con la sua destinazione d'uso, è caratterizzato dalla presenza di un elevato numero di elementi vetrati: 9 portefinestre, 55 finestre.

Per quanto riguarda le vetrate, la tipologia più frequente, che caratterizza la quasi totalità delle finestre presenti, è il doppio vetro camera con rivestimento basso emissivo dal coefficiente di emissività pari a 0,2.

Per quanto riguarda invece la tipologia di supporto, tutti gli elementi vetrati presentano un telaio in alluminio senza taglio termico.

Si segnala l'assenza di schermature mobili che influenzino la trasmittanza dei componenti vetrati. Sono presenti soltanto tende veneziane appese sul lato interno.

Si stabilisce la tipologia di componente vetrato ed eventualmente la direzione del flusso. Vengono inserite in secondo luogo le informazioni fondamentali della finestra, in particolare i dati geometrici, il tipo di vetrata e la sua stratigrafia, il tipo di telaio e i dati dei pannelli opachi, se presenti. Il software calcola in automatico la trasmittanza di vetro, telaio e della finestra stessa.

Nella seconda sottosezione è possibile poi specificare la struttura muraria in cui si inserisce e l'altezza del sottofinestra e, nel caso fosse presente, si compilano le sezioni relative al cassonetto. È inoltre possibile inserire i ponti termici associati alle spalle, all'architrave e al davanzale della finestra. Infine, nel riepilogo vanno aggiunti i dati relativi alle chiusure oscuranti, al fattore di trasmissione solare e alla classe del serramento.

Dopo l'inserimento degli elementi finestrati nel Layout, per ogni serramento nel menu Parametri finestra, compare una sezione per i fattori di riduzione per l'ombreggiatura, in cui si inseriscono eventuali ostruzioni esterne, aggetti verticali o orizzontali che inficino gli apporti solari. È presente anche un menu relativo ai sistemi schermanti (tipo di schermatura, posizione, trasparenza, colorazione).



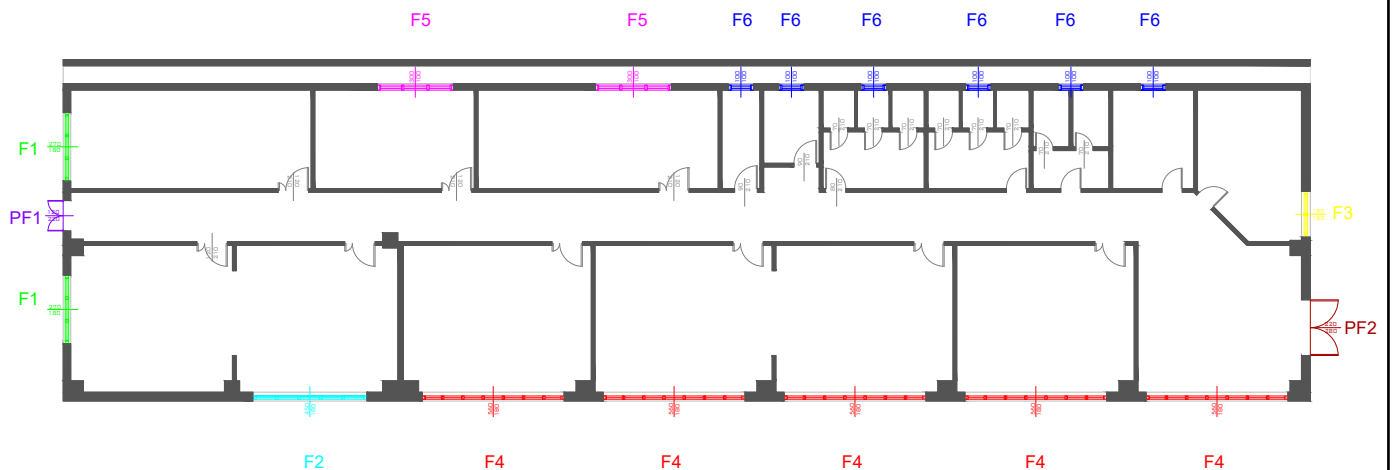
Fig. 6.16 Finestra F4 e portafinestra PF2.

ABACO SERRAMENTI

FINESTRE PIANO SEMINTERRATO	VETRO	A vetro (m ²)	U vetro (W/m ² K)	A telaio (m ²)	U telaio (W/m ² K)	U tot (W/m ² K)	g vetro	STRUTTURA
F1 Finestra 2,7x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	3,641	2,7	1,219	7	3,925	0,67	PE30
F2 Finestra 4,5x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	6,068	2,7	2,032	7	3,926	0,67	PE35
F3 Finestra 1,8x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	2,427	2,7	0,812	7	3,926	0,67	PE35
F4 Finestra 5,6x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	7,61	2,7	2,47	7	3,897	0,67	PE35
F5 Finestra 3x1 ATFVD verso intercapedine	4-6-4 (emis 0,2)	2,117	1,9	0,883	7	3,53	0,67	PE26
F6 Finestra 1x1 ATFVD verso intercapedine	4-6-4 (emis 0,2)	0,706	1,9	0,294	7	3,529	0,67	PE26
PORTEFINESTRE PIANO SEMINTERRATO	VETRO	A vetro (m ²)	U vetro (W/m ² K)	A telaio (m ²)	U telaio (W/m ² K)	U tot (W/m ² K)	g vetro	STRUTTURA
PF1 Portafinestra 1,2x2,2 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	1,707	2,7	0,813	7	4,276	0,67	PE20
PF2 Portafinestra 2,2x2,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	4,896	2,7	1,264	7	3,721	0,67	PE35



Pianta piano seminterrato (scuola media)

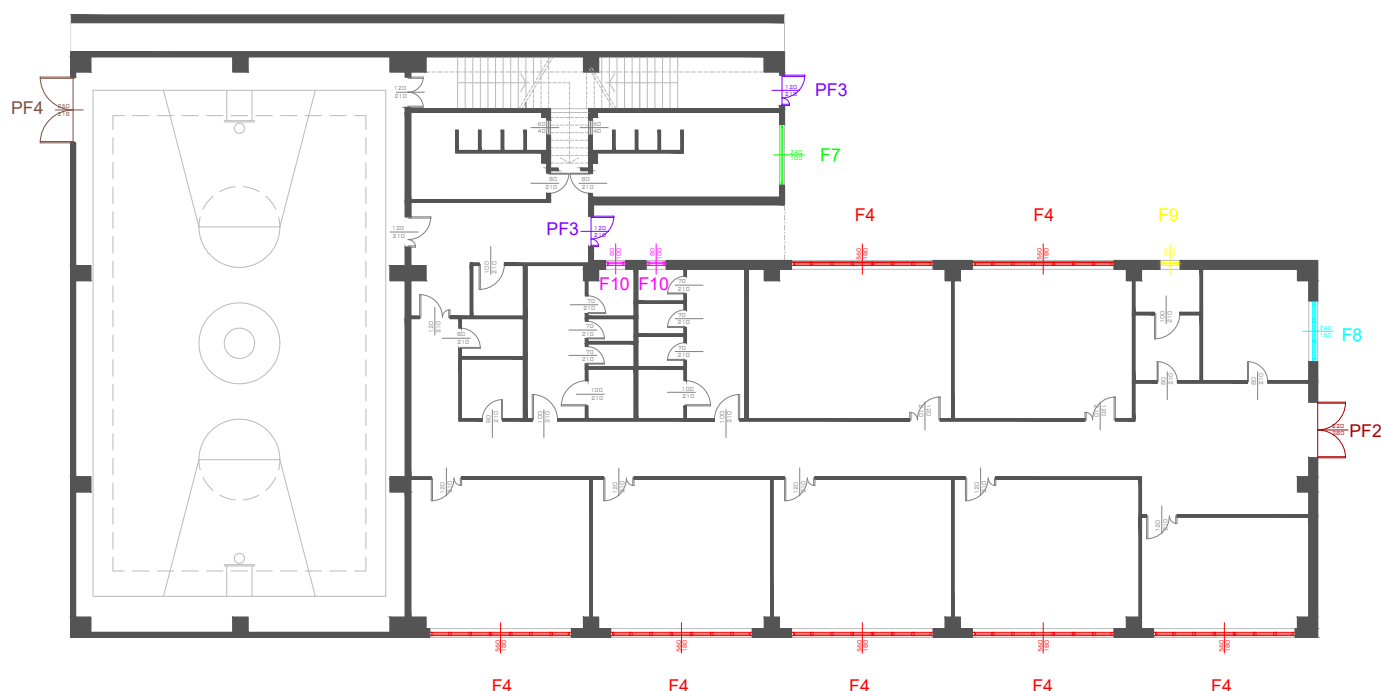


ABACO SERRAMENTI

FINESTRE PIANO TERRA	VETRO	A vetro (m ²)	U vetro (W/m ² K)	A telaio (m ²)	U telaio (W/m ² K)	U tot(W/m ² K)	g vetro	STRUTTURA
F4 Finestra 5,6x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	7,61	2,7	2,47	7	3,897	0,67	PE35
F7 Finestra 2,4x1 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	1,882	2,7	0,518	7	3,756	0,67	PE20
F8 Finestra 2,4x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	3,149	2,7	1,171	7	4,024	0,67	PE35
F9 Finestra 0,8x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	1,05	2,7	0,39	7	4,023	0,67	PE35
F10 Finestra 0,8x1 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	0,538	2,7	0,262	7	4,293	0,67	PE35
PORTEFINESTRE PIANO SEMINTERRATO	VETRO	A vetro (m ²)	U vetro (W/m ² K)	A telaio (m ²)	U telaio (W/m ² K)	U tot (W/m ² K)	g vetro	STRUTTURA
PF2 Portafinestra 2,2x2,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	4,896	2,7	1,264	7	3,721	0,67	PE35
PF3 Portafinestra 1,2x2,1 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	1,707	2,7	0,813	7	4,276	0,67	PE20
PF4 Portafinestra 2,6x2,18 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	2,013	2,7	1,027	7	4,821	0,67	PE35



Pianta piano terra (scuola elementare)



ABACO SERRAMENTI

FINESTRE PRIMO PIANO	VETRO	A vetro (m ²)	U vetro (W/m ² K)	A telaio (m ²)	U telaio (W/m ² K)	U tot(W/m ² K)	g vetro	STRUTTURA
F4 Finestra 5,6x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	7,61	2,7	2,47	7	3,897	0,67	PE35
F9 Finestra 0,8x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	1,05	2,7	0,39	7	4,023	0,67	PE35
F11 Finestra 2,2x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	3,083	2,7	0,877	7	3,783	0,67	PE35
F12 Finestra 4,35x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	5,822	2,7	2,008	7	3,953	0,67	PE20
F13 Finestra 4,8x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	5,298	2,7	2,342	7	4,024	0,67	PE35
F14 Finestra 1x1,6 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	1,21	2,7	0,39	7	3,891	0,67	PE20
F15 Finestra 1,6x1,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	2,099	2,7	0,781	7	4,024	0,67	PE35
L Lucernario 1,8x1,2	singolo	0,458	6,9	0,262	7	6,936	0,85	Copertura piana
F18 Finestra 4,8x1,2 ATFVD palestra	4-12-4 (emis 0,2)	3,994	2	1,766	7	3,708	0,67	PE20
F19 Finestra 4,15x1,2 ATFVD palestra	4-12-4 (emis 0,2)	3,484	2	1,496	7	3,674	0,67	PE20
F20 Finestra 3,3x1,2 ATFVD palestra	4-12-4 (emis 0,2)	2,933	2	1,027	7	3,447	0,67	PE20
F21 Finestra 7,55x1,2 ATFVD palestra	4-6-4 (emis 0,2)	5,99	2,7	2,65	7	4,194	0,67	PE20
F22 Palestra 5,38x0,935 media ATFVD palestra	4-6-4 (emis 0,2)	3,798	2,7	1,232	7	3,898	0,67	PE20
PORTEFINESTRE PIANO SEMINTERRATO	VETRO	A vetro (m ²)	U vetro (W/m ² K)	A telaio (m ²)	U telaio (W/m ² K)	U tot (W/m ² K)	g vetro	STRUTTURA
PF2 Portafinestra 2,2x2,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	4,896	2,7	1,264	7	3,721	0,67	PE35
PF5 Portafinestra 1,5x2,8 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	3,01	2,7	1,19	7	4,112	0,67	PE20
PF6 Portafinestra 1,8x2,1 ATFVD	4-6-4 (emis 0,2)	2,013	2,7	1,027	7	4,821	0,67	PE35

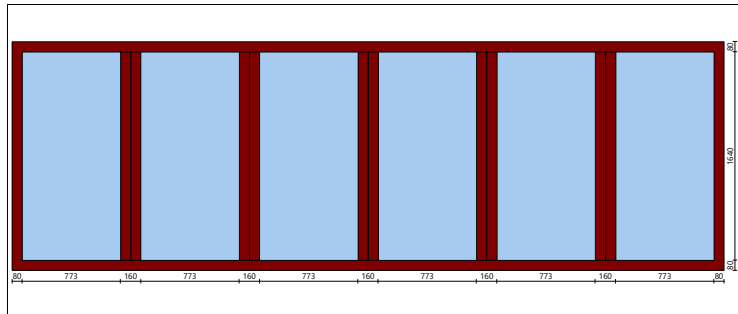
Pianta primo piano (scuola materna)



CARATTERISTICHE TERMICHE DEI SERRAMENTI

F4 Finestra 5,6x1,8 ATFVD

A_g	7,610	m^2
A_f	2,470	m^2
l_g	28,960	m
U_g	2,700	W/m^2K
U_f	7,000	W/m^2K
Ψ	0,050	W/mK



Caratteristiche del serramento

A	10,080	m^2
ΔR		m^2K/W
U_w	3,897	W/m^2K
U_{w+shut}	3,897	W/m^2K
$U_{w,corr}$	3,897	W/m^2K
$g_{gl,n}$	0,67	-

Legenda

A_g	Area del vetro
A_f	Area del telaio
l_g	Perimetro della superficie vetrata
U_g	Trasmittanza termica dell'elemento vetrato
U_f	Trasmittanza termica del telaio
Ψ	Trasmittanza lineica (nulla in caso di vetro singolo)
A	Area totale della finestra
ΔR	Resistenza addizionale della chiusura oscurante
U_w	Trasmittanza termica del componente trasparente senza chiusura oscurante
U_{w+shut}	Trasmittanza termica del componente trasparente con chiusura oscurante
$U_{w,corr}$	Trasmittanza termica ridotta del componente trasparente e della chiusura oscurante
$g_{gl,n}$	Fattore di trasmissione solare normale del vetro

Dati finestra Sottofinestra e casonetto Ripiego finestra

Dati forniti dal produttore Calcola caratteristiche geometriche finestra

Vetrata

Area $(5,6-2 \cdot 0,08-2 \cdot 0,08 \cdot (1-1)) \cdot (1,8-0,08-0,08 \cdot (1-1)) = 7,610 \text{ m}^2$

Perimetro $(5,6-2 \cdot 0,08-2 \cdot 0,08 \cdot (1-1)) \cdot 1 + (1,8-0,08-0,08 \cdot (1-1)) \cdot 1 = 26,960 \text{ m}$

Struttura Vetro doppio (omb 0,2) 4-6-4

Trasmissione vetro 2,700 W/m²K

Pannello opaco

Area _____ m²

Perimetro _____ m

Trasmissione _____ W/m²K Trasmissione lineica ponte termico _____ W/mK

Telaio

Area 2,470 m²

Trasmissione 7,000 W/m²K

Trasmissione distanzatore 0,050 W/mK

Trasmissione 3,897 W/m²K

Dati finestra Sottofinestra e casonetto Ripiego finestra

Sottofinestra

Struttura PE35 Parete prefabbricata 20 cm

Altezza 1,000 m

Area 5,600 m²

Trasmissione 0,222 W/m²K

Casonetto

Altezza _____ m

Area _____ m²

Trasmissione _____ W/m²K

Escludi dalle verifiche

Ponti termici associati alla finestra

Davanzale 210 W Serriamento filo esterno PE35 inf

Spallo sx 210 W Serriamento filo esterno PE35

Spallo dx 210 W Serriamento filo esterno PE35

Architrave/Casonetto 210 W Serriamento filo esterno PE35 sup

Importa ponte termico per tutte le parti della finestra

Dati finestra Sottofinestra e casonetto Ripiego finestra

Finestra

Area $5,6 \cdot 1,8 = 10,080 \text{ m}^2$

Perimetro $(5,6+1,8) \cdot 2 = 14,800 \text{ m}$

Larghezza 5,600 m

Chiusure oscuranti

Resistenza termica addizionale dovuta a chiusure oscuranti _____ m²K/W

Trasmissione finestra con chiusura oscurante 3,897 W/m²K

Chiusura oscurante non oggetto di intervento

Schemature non oggetto di intervento

Trasmissione solare

0,67

Classe di serriamento 0,2

Scheda tecnica finestra

Scheda tecnica casonetto

Scheda tecnica schematura esterna

Fig. 6.17 Dati finestra F4.

Ponti termici

I ponti termici si definiscono come punti o aree all'interno dell'involucro edilizio nei quali si riduce notevolmente la resistenza termica. Essi causano una discontinuità nel materiale o una variazione nella forma che producono un notevole impatto sulla trasmissione del calore: in particolare causano un aumento dei flussi termici e la variazione delle temperature superficiali interne, causando dispersione di calore in zone specifiche.

Queste difformità rivestono un ruolo importante nel campo della riqualificazione energetica per i grandi vantaggi in termini di costi energetici che possono garantire se trattati correttamente.

Se trascurati invece, possono causare discomfort abitativo, generando correnti d'aria indesiderate e variazioni di temperatura tra i locali e favorendo la formazione di muffe e condense. Oltre a rappresentare un aumento di costo considerevole a causa delle dispersioni, possono danneggiare la struttura e nuocere alla salute degli occupanti.

I ponti termici possono essere raggruppati in due categorie principali:

- Ponte termico di struttura, o di materiale;
- Ponte termico geometrico, o di forma.

Il primo è legato alla presenza di elementi diversi fra loro all'interno della struttura. Il passaggio da un materiale a un altro, o l'accostamento di differenti elementi costruttivi, causano discontinuità nell'involucro edilizio. Il secondo, invece, si riferisce al cambiamento di forma degli stessi materiali. Si tratta per esempio di spigoli, restrizioni e allargamenti, o qualsiasi interruzione di continuità che causi una concentrazione delle linee di flusso termico.

È inoltre possibile che essi si verifichino a causa di errori commessi durante la fase di costruzione, quali un'erronea posa in opera o un'inadeguata scelta di materiali.

Dal punto di vista fisico invece, i ponti termici possono essere classificati come:

- Ponti termici lineari, caratterizzati da una sezione trasversale uniforme in una direzione, presentano un flusso termico monodimensionale (ad esempio lungo un davanzale);
- Ponti termici puntuali, senza sezioni trasversali uniformi in alcuna direzione, si distinguono per un flusso termico tridimensionale (ad esempio una connessione pilastro-solaio).

I ponti termici in molti casi sono ricorrenti e si verificano principalmente in alcune zone specifiche quali:

- Pilastri (connessione pilastro-parete e pilastro-solaio) e travi
- Connessione fra elementi esterni (angolo tra due pareti, giunto tra pareti di diverso spessore, giunto parete-copertura, giunto parete-solaio, giunto parete-balcone)
- Connessione tra elementi interni ed esterni (giunto tra le pareti interne e quelle esterne o con la copertura)
- Interruzione dello strato di isolamento termico

- Connessione tra pareti interne e solai intermedi
- Pavimento su terreno
- Porte e finestre (davanzale, giunto parete-telaio, cassonetto)

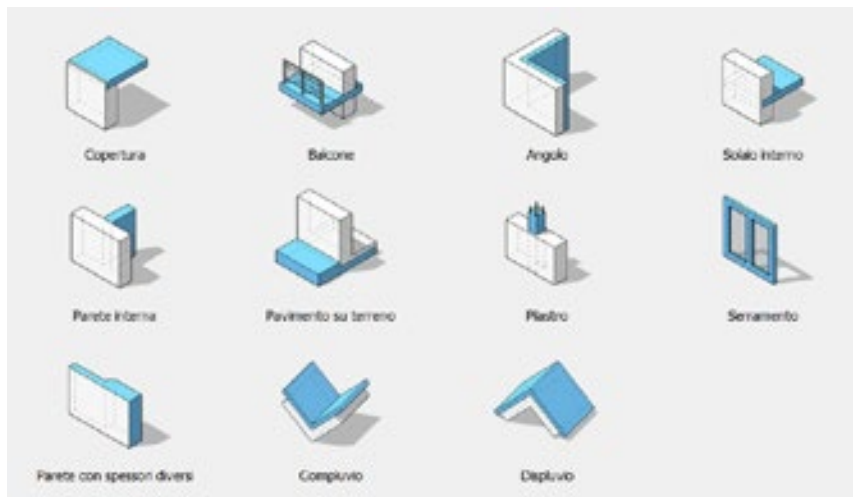


Fig. 6.18 Tipologie ponti termici. [Fonte: Namirial Termo]

Data la rilevanza dei ponti termici nell'ambito dell'efficienza energetica degli edifici, la loro progettazione e valutazione è regolata da apposite normative. La UNI/TS 11300-1:2014, "Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale", introduce il tema e offre ulteriori indicazioni riguardo la scelta del metodo di calcolo in base alle specifiche caratteristiche del ponte termico.

La norma UNI EN ISO 14683 individua i valori di riferimento per il calcolo dei ponti termici, definendo anche il relativo grado di incertezza, e presenta quattro metodologie di calcolo semplificate:

- Calcolo numerico agli Elementi Finiti (FEM-Finite Element Method), svolto secondo le indicazioni fornite dalla norma UNI EN ISO 10211 (incertezza dell'ordine di $\Psi \pm 5\%$);
- Atlanti dei ponti termici, conformi alla UNI EN ISO 14683 (incertezza $\Psi \pm 20\%$);
- Metodi di calcolo manuale, conformi alla UNI EN ISO 14683 (incertezza $\Psi \pm 20\%$);
- Utilizzo dei valori standard, riportati nell'appendice A della norma stessa (incertezza $\Psi 0\% \div 50\%$).

Gli ultimi aggiornamenti della norma UNI/TS 11300-1 hanno però vietato ogni tipo di semplificazione per gli edifici esistenti, tra cui l'utilizzo dell'abaco di ponti termici in allegato A alla norma UNI EN ISO 14683 e il calcolo forfettario o la maggiorazione percentuale dei ponti termici.

Dal 2014 sono previste due modalità possibili di calcolo dei ponti termici:

- Calcolo numerico (analisi agli elementi finiti), in accordo alla UNI EN ISO 10211:2018;

- Calcolo con atlanti dei ponti termici, conformi alla UNI EN ISO 14683:2018, nel caso in cui le condizioni al contorno risultino molto simili al caso in esame.

La UNI/TS 11300-1:2014 stabilisce che, nel caso di valutazioni di progetto, sia necessario adoperare preferibilmente il calcolo numerico conforme alla UNI EN ISO 10211, oppure verificare che le condizioni al contorno siano piuttosto simili, nel caso dell'utilizzo di atlanti di ponti termici.

Anche nei casi più complessi il calcolo numerico dettagliato dei flussi termici e delle temperature superficiali può essere eseguito secondo la metodologia di calcolo FEM, che stabilisce come realizzare modelli geometrici tridimensionali e bidimensionali per un'analisi precisa.

Il metodo di calcolo manuale è consigliato invece per gli edifici esistenti.

Per il progetto in analisi è stato selezionato il metodo di calcolo agli Elementi Finiti (FEM).

Per l'inserimento nel software dei ponti termici si effettua in primo luogo la scelta della tipologia e del suddetto metodo di calcolo. Si procede alla progettazione del ponte, che può avvenire manualmente oppure in maniera semplificata tramite la selezione della tipologia e delle strutture coinvolte nel sistema Wizard. Il calcolo effettuato prevede la generazione automatica della mesh e il calcolo delle temperature di ogni nodo, così da verificare se e in quale punto c'è il rischio che si formi la muffa.

Successivamente, come per gli elementi verticali, orizzontali e gli infissi sarà possibile inserire anche i ponti termici nel modello grafico nella sezione Edifici, Layout.

Sarà necessario selezionare il ponte termico interessato, inserirlo nella parete relativa e stabilirne la lunghezza. Per i ponti termici relativi ai solai, una volta inseriti nelle rispettive pareti, è possibile selezionare la condivisione con pavimento, soffitto o copertura.

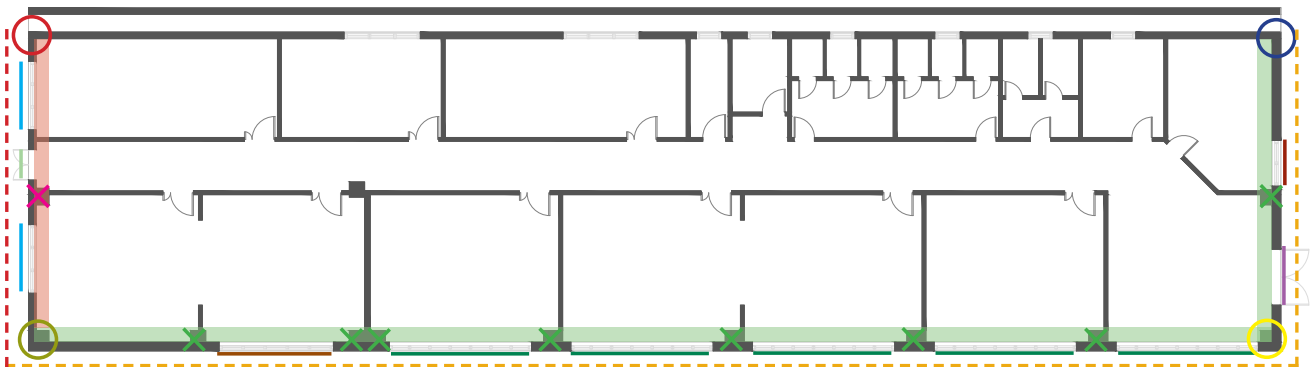
I ponti termici associati ai serramenti, essendo già stati inseriti nella sezione Strutture, non devono essere inseriti nel Layout.

ABACO PONTI TERMICI

CODICE	PONTI TERMICI SEMINTERRATO	TIPOLOGIA	Ψ (W/mK)	L (m)	RISCHIO MUFFA
Z1	C- Angolo Pilastro PILsuPE35	Angolo sporgente con pilastro	0,199	1,902	NO
Z2	C- Angolo Pilastro PILsuPE35-PE30	Angolo sporgente con pilastro	0,200	1,902	NO
Z3	C- Angolo Pareti PE35_PI26int	Angolo sporgente tra pareti	-0,101	1,902	NO
Z4	C- Angolo Pareti PE30_PI26int	Angolo sporgente tra pareti	-0,090	1,902	NO
Z15	P- Pilastro su PE35	Parete esterna con pilastro	0,148	3,805	NO
Z16	P- Pilastro su PE30	Parete esterna con pilastro	0,138	3,805	NO
Z18	W- Serramento F2_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	12,600	SI
Z18	W- Serramento F4_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	14,800	SI
Z18	W- Serramento PF2_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	9,840	SI
Z19	W- Serramento F3_PE35	Serramento in mezzeria	0,125	7,200	SI
Z20	W- Serramento F1_PE30	Serramento in mezzeria	0,135	9,000	SI
Z20	W- Serramento PF1_PE30	Serramento in mezzeria	0,135	6,800	SI
Z25	IF- Basamento_PE35	Parete con solaio contro terra	0,171	61,850	NO
Z26	IF- Basamento_PE30	Parete con solaio contro terra	0,218	12,550	SI
Z30	IF- Solaio indefinito_PE35	Parete con solaio interpiano	0,440	30,925	NO
Z31	IF- Solaio indefinito_PE30	Parete con solaio interpiano	0,450	6,275	NO



Pianta piano seminterrato (scuola media)

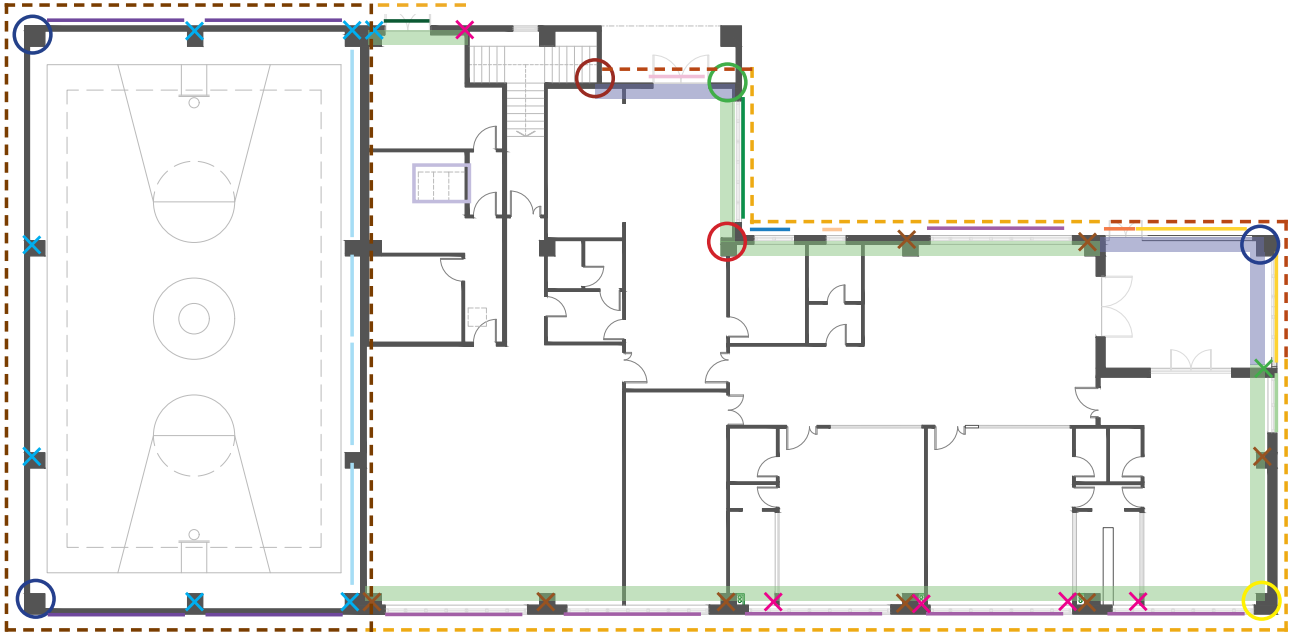


ABACO PONTI TERMICI

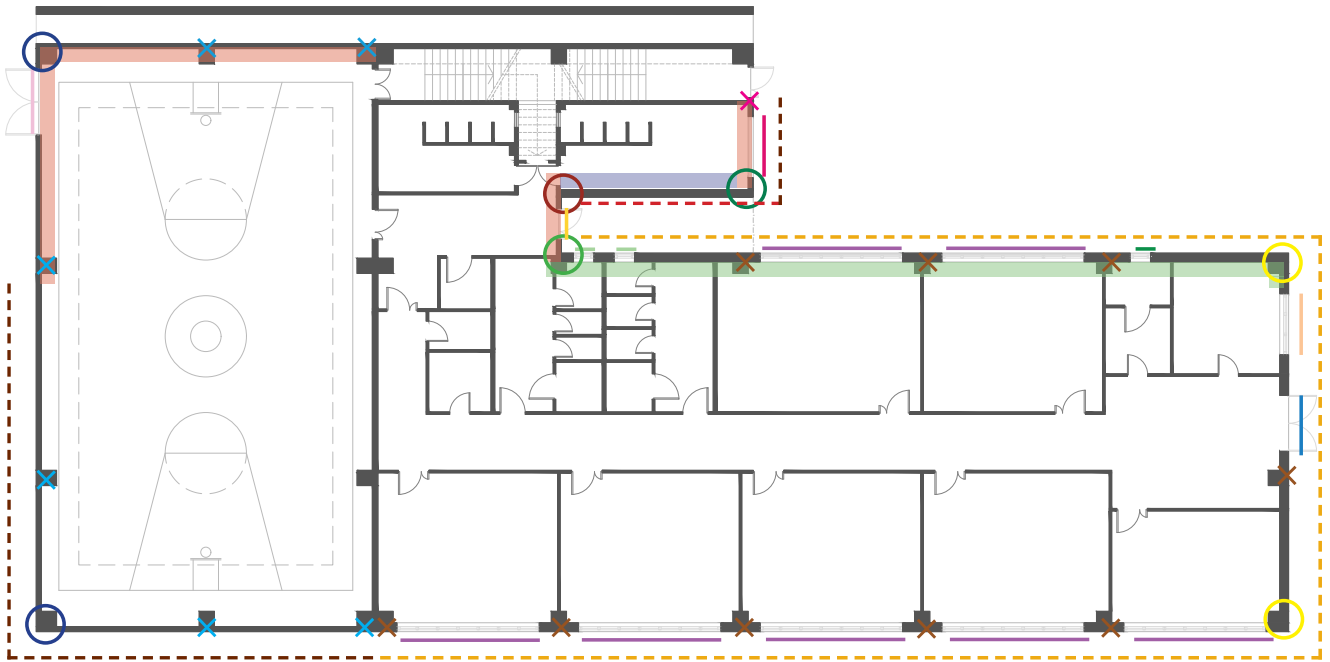


CODICE	PONTI TERMICI PIANO TERRA	TIPOLOGIA	Ψ (W/mK)	L (m)	RISCHIO MUFFA
Z1	C- Angolo Pilastro PILsuPE35	Angolo sporgente con pilastro	0,199	1,777	NO
Z5	C- Angolo Pilastro PILsuPE20	Angolo sporgente con pilastro	-0,076	1,777 7,925 (palestra)	NO
Z6	C- Angolo Pilastro PILsuPE35_PE20	Angolo rientrante con pilastro	0,125	1,777	NO
Z12	C- Angolo Pareti PE30-PE20	Angolo sporgente tra pareti	-0,052	1,777	NO
Z11	C- Angolo Pareti PE30-PE20	Angolo rientrante tra pareti	-0,158	1,777	NO
Z15	P- Pilastro su PE35	Parete esterna con pilastro	0,148	3,555	NO
Z17	P- Pilastro su PE20	Parete esterna con pilastro	-0,001	9,255 (palestra)	NO
Z18	W- Serramento F4_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	14,800	SI
Z18	W- Serramento F8_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	8,400	SI
Z18	W- Serramento F9_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	5,200	SI
Z18	W- Serramento F10_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	3,600	SI
Z18	W- Serramento PF2_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	9,840	SI
Z21	W- Serramento PF3_PE20	Serramento su filo esterno	0,205	6,600	SI
Z22	W- Serramento F7_PE20	Serramento su mezzeria	0,059	6,800	SI
Z22	W- Serramento PF4_PE20 palestra	Serramento su mezzeria	0,059	9,560	SI
Z24	IW- Parete interna PI10 su PE20	Parete interna su parete esterna	-0,158	3,555	NO
Z27	GF- Basamento piano terra_PE35	Parete con solaio su terreno	-0,343	30,025	SI
Z28	GF- Basamento piano terra_PE30	Parete con solaio su terreno	-0,249	7,550	SI
Z29	GF- Basamento piano terra_PE20	Parete con solaio su terreno	-0,053	13,449	SI
Z30	IF- Solaio indefinito_PE35	Parete con solaio interpiano	0,440	67,362	NO
Z31	IF- Solaio indefinito_PE30	Parete con solaio interpiano	0,450	3,775	NO
Z32	IF- Solaio indefinito_PE20	Parete con solaio interpiano	0,427	15,400	NO

Pianta piano terra (scuola elementare)



Pianta primo piano (scuola materna)

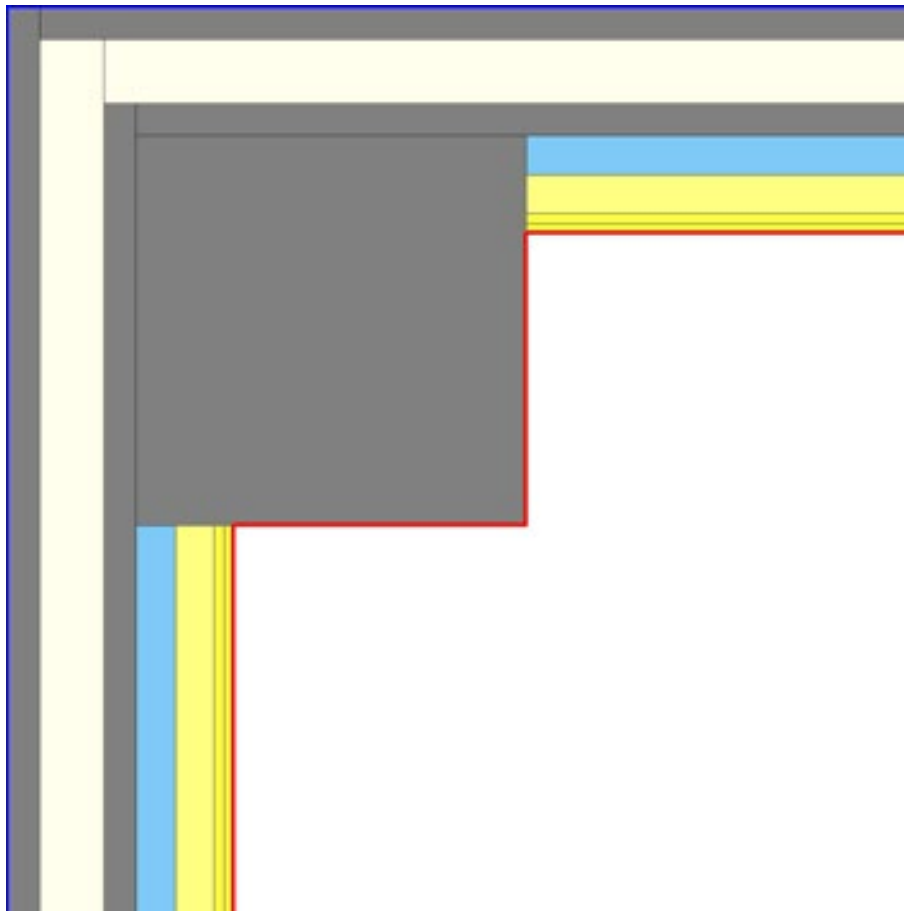


ABACO PONTI TERMICI



CODICE	PONTI TERMICI PRIMO PIANO	TIPOLOGIA	Ψ (W/mK)	L (m)	RISCHIO MUFFA
Z1	C- Angolo Pilastro PILsuPE35	Angolo sporgente con pilastro	0,199	1,830	NO
Z7	C- Angolo Pilastro PILsuPE35	Angolo rientrante con pilastro	0,134	1,830	NO
Z10	C- Angolo Pareti PE35-PE20	Angolo sporgente tra pareti	-0,072	1,830	NO
Z14	C- Angolo Pareti PE20-PE15	Angolo rientrante tra pareti	-1,765	1,830	NO
Z15	P- Pilastro su PE35	Parete esterna con pilastro	0,148	3,660	NO
Z18	W- Serramento F4_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	14,800	SI
Z18	W- Serramento F9_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	5,200	SI
Z18	W- Serramento F11_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	8,000	SI
Z18	W- Serramento F13_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	13,200	SI
Z18	W- Serramento F15_PE35	Serramento su filo esterno	0,129	6,800	SI
Z21	W- Serramento F12_PE20	Serramento su filo interno	0,205	12,300	SI
Z21	W- Serramento PF2_PE20	Serramento su filo esterno	0,205	9,840	SI
Z21	W- Serramento PF5_PE20	Serramento su filo interno	0,205	8,040	SI
Z19	W- Serramento PF6_PE20	Serramento su filo esterno	0,125	7,800	SI
Z21	W- Serramento F18-F23_PE20 palestra	Serramento su filo interno	0,205	X	SI
Z21	W- Serramento F22_PE20 palestra	Serramento su filo interno	0,205	X	SI
Z23	W- Serramento L_Copertura piana	Lucernario su filo esterno	0,237	6,000	SI
Z24	IW- Parete interna P115 su PE35	Parete interna su parete esterna	-0,095	3,660	NO
Z30	IF- Solaio indefinito_PE35	Parete con solaio interpiano	0,440	33,392	NO
Z32	IF- Solaio indefinito_PE20	Parete con solaio interpiano	0,427	8,756	NO
Z33	R- Copertura piana_PE35	Parete con solaio di copertura predalles	0,779	66,685	NO
Z34	R- Copertura piana_PE20	Parete con solaio di copertura predalles	0,641	17,513	NO
Z35	R- Copertura inclinata_PE20	Parete con solaio di copertura legno	-0,123	73,400	NO

Z1) C Angolo sporgente Pilastro PILsuPE35



Modello geometrico del ponte termico

MATERIALI UTILIZZATI

	Materiale	λ [W/mK]
1	Cartongesso in lastre	0,210
2	lana di roccia	0,037
3	Aria intercapedine flusso orizzontale 60 mm	0,325
4	Calcestruzzo generico per pareti interne o esterne protette (1400 kg/m ³)	0,580
5	pannello isolante polistirolo 30kg/mc	0,045
6	Calcestruzzo armato (con 2% di acciaio)	2,500

Legenda

λ Conduttività termica del materiale

CONDIZIONI AL CONTORNO

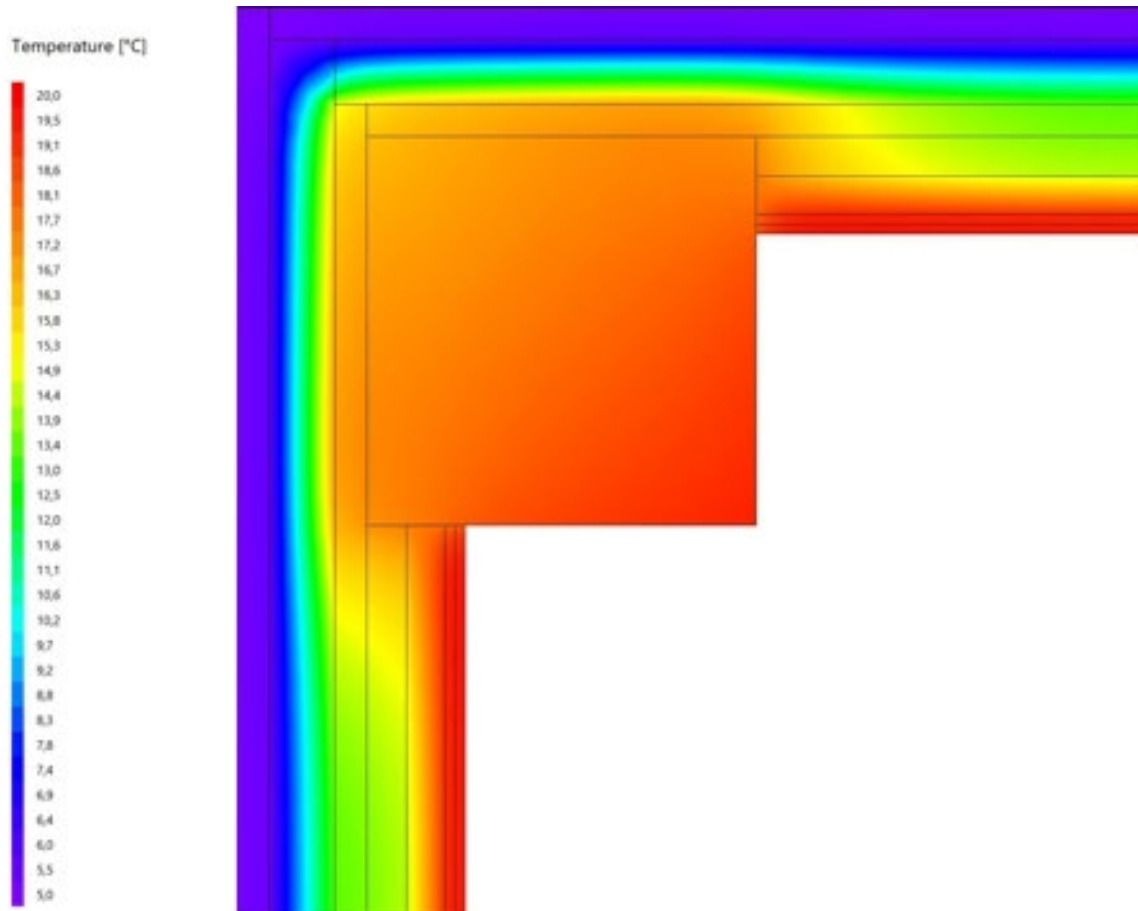
	Confine	θ [°C]	R_s [m ² K/W]
1	Ambiente esterno	5,02	0,040
2	Ambiente interno riscaldato	20,00	0,130

Legenda

θ Temperatura dell'ambiente

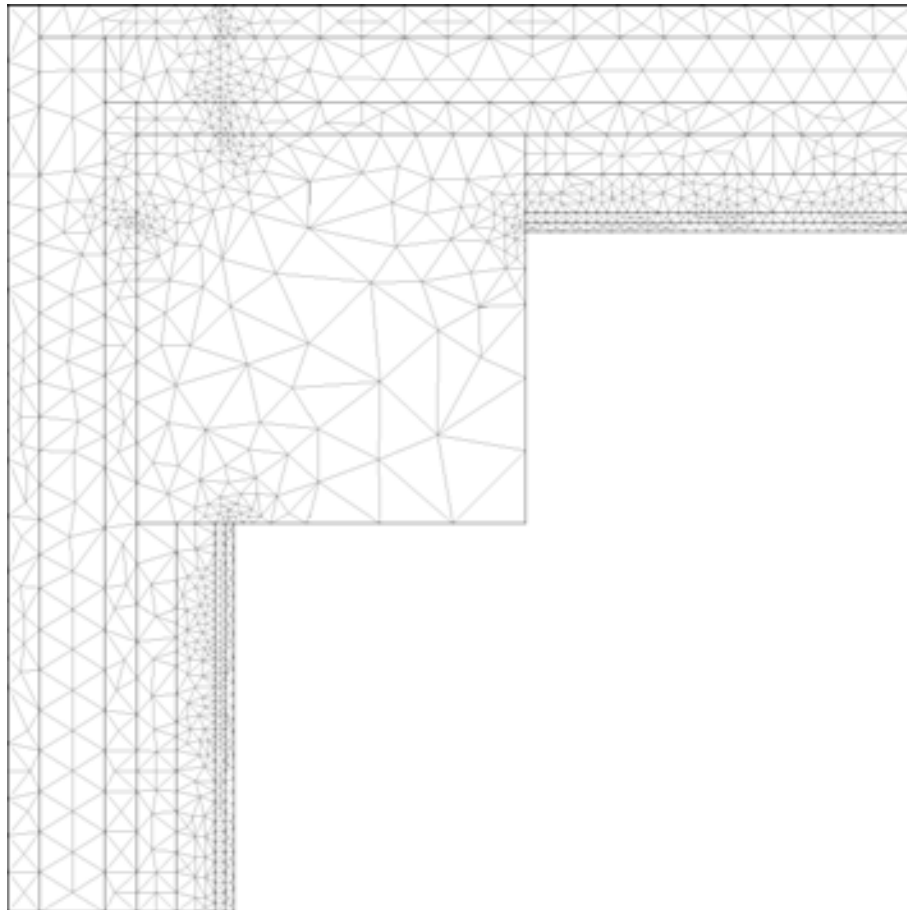
R_s Resistenza superficiale del materiale a contatto con l'ambiente

CALCOLO DELLA TRASMITTANZA LINEICA



Distribuzione delle temperature all'interno del modello

Flusso termico Φ	11,327 W/m
Coefficiente di accoppiamento L_{2D}	0,756 W/mK
Trasmittanza lineica interna ψ_i	0,291 W/mK
Trasmittanza lineica esterna ψ_e	0,136 W/mK



Mesh di calcolo

	U [W/m²K]	L_{int} [m]	L_{ext} [m]	b_{tr}
1	0,222	1,050	1,400	---
2	0,222	1,050	1,400	---

Legenda

- U Trasmittanza termica del componente
- L_{int} Lunghezza considerata per il calcolo della trasmittanza lineica interna
- L_{ext} Lunghezza considerata per il calcolo della trasmittanza lineica esterna
- b_{tr} Coefficiente di scambio termico per locali non riscaldati

VERIFICA FORMAZIONE MUFFA

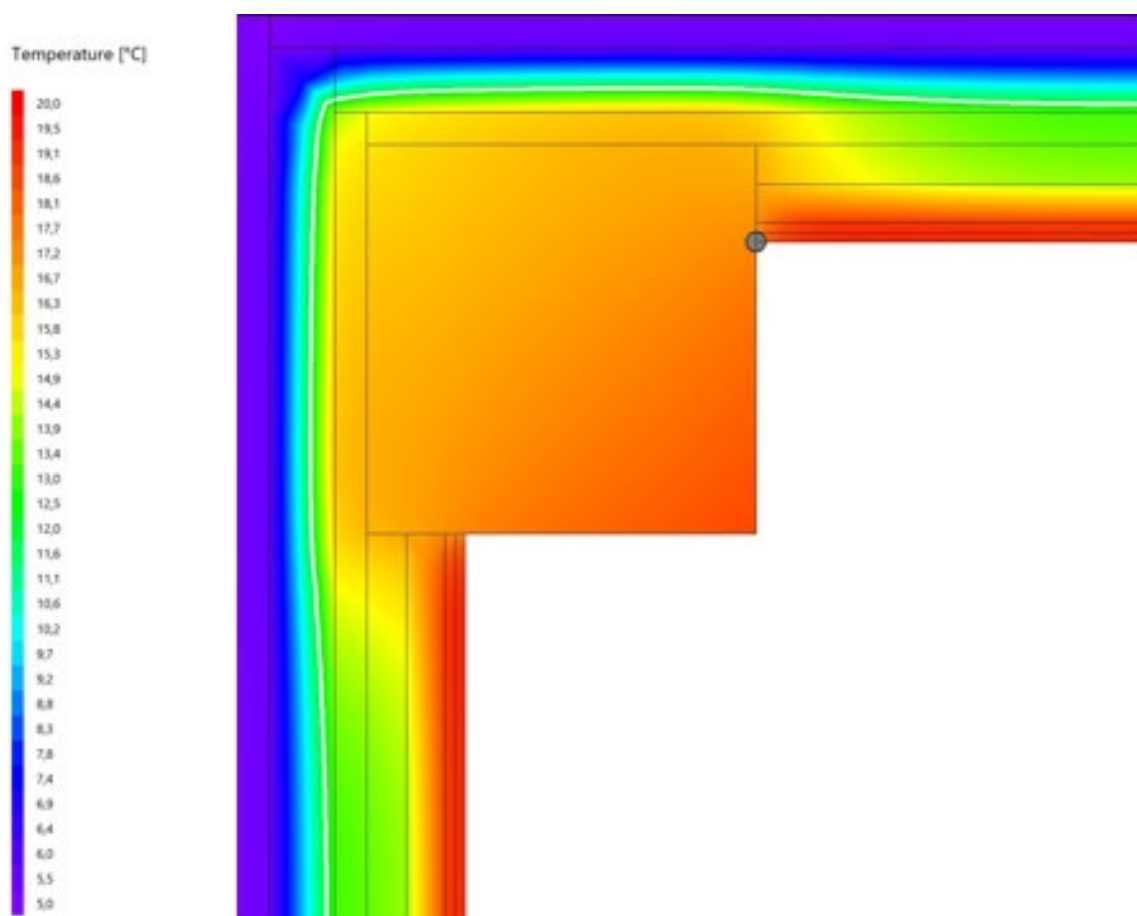
Tipo di calcolo Classi di concentrazione

Classe di vapore Alloggi senza ventilazione meccanica controllata, edifici con indice di affollamento non noto

Mese	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	p_e [Pa]	Δp [Pa]	p_i [Pa]	$p_{sat}(\theta_{si})$ [Pa]	$\theta_{si,min}$ [°C]	θ_i [°C]	$f_{Rsi,min}$
Novembre	11,52	57,50	781	401	1.182	1.477	12,80	20,00	0,1508
Dicembre	5,02	57,05	498	632	1.130	1.412	12,11	20,00	0,4735
Gennaio	9,12	70,72	818	486	1.304	1.630	14,31	20,00	0,4773
Febbraio	10,42	65,45	826	440	1.266	1.583	13,86	20,00	0,3586
Marzo	11,62	69,95	956	397	1.354	1.692	14,89	20,00	0,3900
Aprile	14,32	72,69	1.186	302	1.487	1.859	16,36	20,00	0,3586

Legenda

- θ_e Temperatura esterna
- ϕ_e Umidità relativa esterna
- p_e Pressione parziale di vapore acqueo esterna
- Δp Differenza di pressione parziale di vapore acqueo fra interno e esterno
- p_i Pressione parziale di vapore acqueo interna
- $p_{sat}(\theta_{si})$ Pressione di saturazione minima accettabile
- $\theta_{si,min}$ Temperatura superficiale minima accettabile
- θ_i Temperatura interna
- $f_{Rsi,min}$ Fattore di temperatura minimo



Distribuzione delle temperature e isoterma della temperatura limite

6.3.3 Impianti

Impianto fotovoltaico

All'interno della sezione Centrali elettriche si definiscono i generatori di energia elettrica a servizio del progetto. La centrale elettrica successivamente può essere assegnata sia alle centrali termiche sia alle zone termiche dell'edificio in oggetto.

L'edificio dispone di un impianto fotovoltaico di 80 pannelli in silicio policristallino da circa 1,7 m² ciascuno, per una superficie captante totale di 133,6 m². I pannelli sono disposti sulla copertura piana calpestabile, inclinati di circa 35° e con orientamento sud. La potenza di picco dell'impianto è di 19,2kW.



Fig. 6.19 Impianto fotovoltaico e impianto solare termico.

Impianto di riscaldamento e produzione di acs (acqua calda sanitaria)

Nella sezione Centrali termiche è possibile definire una o più centrali a servizio dell'edificio in oggetto. Dopo aver creato una centrale termica è possibile aggiungere uno o più generatori a servizio della stessa appena definita: l'ordine con cui i generatori sono stati specificati corrisponde all'ordine della priorità di intervento. Le centrali possono essere autonome o centralizzate, dunque a servizio dell'unica unità abitativa oppure di più subalterni contemporaneamente: è possibile, infatti, stabilire l'associazione della centrale termica con le zone di uno o più subalterni.

Per il caso oggetto di studio è stata inserita un'unica centrale termica con diversi generatori: secondo l'ordine di priorità è stato immesso il generatore solare termico, responsabile della produzione di acs, e successivamente le quattro caldaie, che adempiono principalmente al riscaldamento e agiscono in integrazione, in caso di necessità, per la produzione di acs. Il sistema di generazione per l'impianto di riscaldamento, che è unico e centralizzato per l'intero edificio, è costituito da un generatore con quattro caldaie murali marca Cosmogas a condensazione con regolazione di cascata e ripartizione del carico con priorità. Tre di queste sono modello NOVADENS 45 C, mentre la rimanente, installata più recentemente, è MYPLUS 50 C. Tutte le caldaie sono alimentate a GPL e presentano un bruciatore ad aria soffiata.

I dati principali (potenza al focolare nominale, potenza utile nominale, rendimento al 100% e al 30% di carico, efficienza energetica stagionale per il riscaldamento d'ambiente, consumi di distribuzione) sono da inserire nella sezione Centrali termiche.

The screenshot shows the 'Dati tecnici' (Technical Data) section for a boiler. The 'Dati generali' (General Data) tab is active. The fuel is set to 'GPL' (LPG) and the calculation method is 'UNI/TS 11300-2 - Metodo B1 - Direttiva 92/42/CEE'. Under 'Parametri generatore' (Generator Parameters), the boiler type is 'A condensazione' (Condensing), the material is 'Generatore in acciaio' (Steel generator), the location is 'Centrale termica' (Thermal plant), the fluid is 'Acqua' (Water), and the load distribution is 'Con regolazione di cascata e ripartizione del carico con priorità' (With cascade control and load distribution with priority). Two checkboxes are present: 'Funzionamento ACS istantaneo con priorità rispetto al riscaldamento' (Instantaneous ACS operation with priority over heating) and 'Non considerare le perdite a carico nullo nei mesi di spegnimento' (Do not consider losses at zero load in shutdown months). The nominal boiler power is 45,00 kW and the nominal useful power is 43,70 kW. The thermal efficiency is 97,5% at 100% load and 110,1% at 30% load. The seasonal efficiency for space heating is 92,0%. The burner type is 'Bruciatore ad aria soffia' (Blow-off burner).

Fig. 6.20 Dati tecnici caldaia Novadens 45 C.

The screenshot shows the 'Dati tecnici' (Technical Data) section for a boiler. The 'Dati generali' (General Data) tab is active. The fuel is set to 'GPL' (LPG) and the calculation method is 'UNI/TS 11300-2 - Metodo B1 - Direttiva 92/42/CEE'. Under 'Parametri generatore' (Generator Parameters), the boiler type is 'A condensazione' (Condensing), the material is 'Generatore in acciaio' (Steel generator), the location is 'Centrale termica' (Thermal plant), the fluid is 'Acqua' (Water), and the load distribution is 'Con regolazione di cascata e ripartizione del carico con priorità' (With cascade control and load distribution with priority). Two checkboxes are present: 'Funzionamento ACS istantaneo con priorità rispetto al riscaldamento' (Instantaneous ACS operation with priority over heating) and 'Non considerare le perdite a carico nullo nei mesi di spegnimento' (Do not consider losses at zero load in shutdown months). The nominal boiler power is 47,90 kW and the nominal useful power is 46,50 kW. The thermal efficiency is 97,2% at 100% load and 107,9% at 30% load. The seasonal efficiency for space heating is 92,0%. The burner type is 'Bruciatore ad aria soffia' (Blow-off burner).

Fig. 6.21 Dati tecnici caldaia MyPlus 50 C.

Caratteristiche tecniche		Cosmogas	Cosmogas
		NOVADENS 45 C	MYPLUS 50 C
Potenza al focolare nominale Q	kW	45	49
Potenza utile nominale P	kW	43,7	48,5
Rendimento al 100% di carico	%	97,5	97,2
Rendimento al 100% di carico	%	110,1	107,9
Efficienza energetica stagionale per il riscaldamento d'ambiente	%	/	92
Potenza utile a carico intermedio	kW	13,11	14,55
Potenza persa a carico nullo	W	135	50
Potenza assorbita dagli ausiliari a potenza nominale	W	276	290
Potenza assorbita dagli ausiliari a potenza intermedia	W	92	97
Potenza assorbita dagli ausiliari a carico nullo	W	15	15
Combustibile		GPL	GPL
Fluido termovettore		Acqua	Acqua
Bruciatore		Ad aria soffiata	Ad aria soffiata

Fig. 6.22 Confronto dati caldaie “Novadens 45C” e “Myplus 50C”.



Fig. 6.23 Caldaie in centrale termica.

La distribuzione è a collettori e utilizza due pompe di zona principali, una per tutti e tre i piani del plesso scolastico (Pompa 1) GRUNDFOS Magna 40-120F ($P_{\text{ass}} 450\text{W}$) e una per la palestra (Pompa 2) GRUNDFOS Alpha1 L 32-60 180 ($P_{\text{ass}} 45\text{W}$). Di queste ultime, i valori di potenza elettrica assorbita sono stati reperiti dalle etichette dei circolatori stessi, seppur le schede tecniche relative ai modelli rechino dei dati leggermente differenti (Pompa 1 $P_{\text{ass}} 427\text{W}$). La potenza della Pompa 1 è stata inserita nelle varie zone termiche interessate in Riscaldamento/Riscaldamento/Distribuzione acqua/Potenza ausiliari, ripartita secondo i rispettivi fabbisogni. La potenza della Pompa 2 è stata inserita nella stessa posizione nella zona termica Palestra.

I terminali di emissione nella scuola sono radiatori in alluminio, installati prevalentemente su pareti esterne isolate, mentre nei corridoi sono presenti dei ventilconvettori. La regolazione è climatica e per singolo ambiente (a valle della Pompa 1 è infatti presente una valvola termostatica a tre vie).

Nella palestra i terminali di emissione sono aerotermini ad acqua, mentre gli spogliatoi sono riscaldati attraverso i radiatori. La regolazione è solo per singolo ambiente.

Ulteriori dati saranno richiesti successivamente nella sezione Zone termiche.

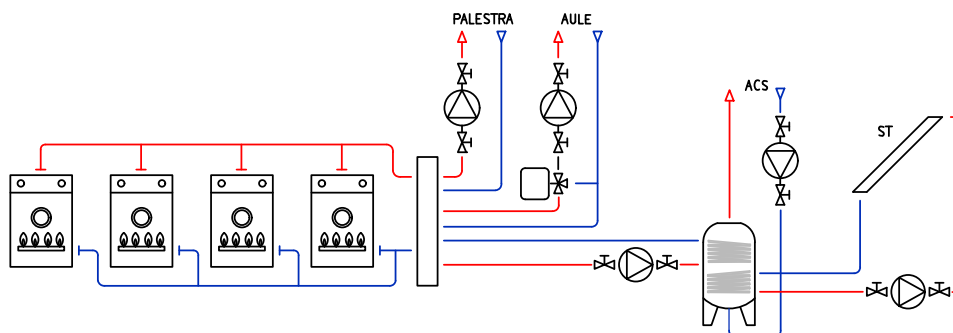


Fig. 6.24 Schema impianto.

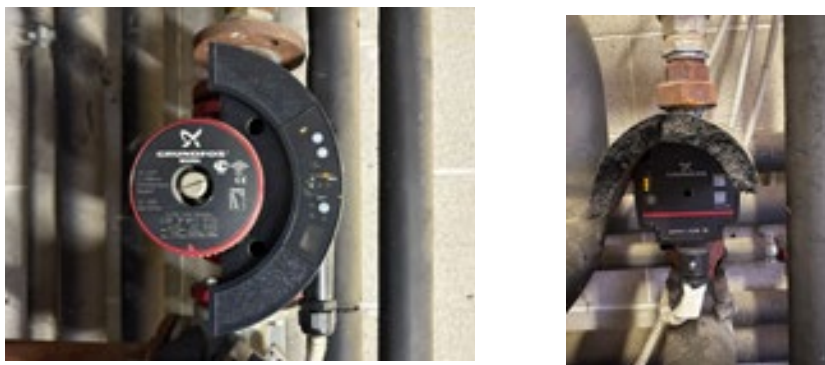


Fig. 6.25 Pompe di circolazione riscaldamento: Pompa 1 e Pompa 2.



Fig. 6.26 Terminali di riscaldamento: radiatore, vetilconvettore, aerotermo.

L'impianto solare termico è costituito da sei pannelli piani vetrati da $2,5 \text{ m}^2$ ciascuno posti in copertura, che alimentano un bollitore da 500 L posto in centrale termica, su cui operano in integrazione anche le caldaie precedentemente citate. I pannelli, per un totale di 15 m^2 sono inclinati di circa 60° e orientati verso sud-est (-45°).

Per segnalare l'integrazione del bollitore tra i due generatori è stata compilata la sezione dell'accumulo solare, inserendo metà del volume del bollitore come serbatoio di backup (250 L).

Il bollitore è marca Cordivari e modello BOLLY Solar 2 ST FB con doppio serpentino: il superiore è alimentato dalle caldaie tramite una pompa di caricamento (Pompa 3)

GRUNDFOS UPS 25-50 ($P_{\text{ass}} 80 \text{ W}$) inserita in Centrale termica/Distribuzione primaria/ Acqua calda sanitaria/Potenza ausiliari; mentre quello inferiore dal solare termico, tramite una pompa (Pompa 4) DAB VS 16/150 ($P_{\text{ass}} 41 \text{ W}$) inserita in Generatore solare termico/Dati tecnici/Potenza ausiliari elettrici.

Per il ricircolo negli impianti sanitari viene utilizzata una pompa (Pompa 5) GRUNDFOS UP 20-30 N 150 ($P_{\text{ass}} 75 \text{ W}$); la potenza viene inserita nelle varie zone termiche in Acqua calda sanitaria/Potenza ausiliari, ripartita secondo il rispettivo fabbisogno.

Generatore solare termico

Dati generali | Dati tecnici | Integrazione

Metodo di calcolo: UR/TS 11300-4

Tipo di collettore: Pannello vetrato

eta0	a1 [W/m ² K]	a2 [W/m ² K ²] [MW]
0,780	3,500	0,015

Inclinazione: 60 ° Orientamento: -45 °

Superficie captante: 15,000 m²

Tipologia solare termico: Sistema ad accumulo

Potenza ausiliari elettrici: 41 W

Tipo tubazioni: Isolante

Albedo medio mensile

Gen	Feb	Mar	Apr	Mai	Giù	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13

Albedo medio annuo: 0,13

Fig. 6.27 Dati tecnici generatore solare termico "Sonnenkraft SK500".

Tipo sistema: Solo acqua calda sanitaria

Dispersione termica nota

Superficie disperdente: 5,100 m² Spessore strato isolante: 5,0 cm Conduttività isolante: 0,023 W/mK

Volume serbatoio: 500,0 l

Dispersione termica: 2,346 W/K

Temperatura medio accumulo: 60,0 °C

Zona di installazione: centrale termica

Accumulo solare

Volume serbatoio (backup): 250,0 l

Tipo di integrazione: Permanente

Fig. 6.28 Dati accumulo "CORDIVARI Bolly 2 ST FB".



Fig. 6.29 Pompe di circolazione acs: Pompa 3, Pompa 4, Pompa 5.

POMPE DI CIRCOLAZIONE				
TIPO	MARCA	MODELLO	POTENZA (W)	A SERVIZIO DI
INVERTER	GRUNDFOS	MAGNA 40 - 120 F	450	Circuito radiatori aule
INVERTER	GRUNDFOS	ALPHA 1 L32 - 60	45	Circuito aerotermi palestra
INVERTER	GRUNDFOS	UPS 25 - 50	80	Circuito acs
NON INVERTER	DAB	VS 16/150 EVO	41	Circuito solare termico
NON INVERTER	GRUNDFOS	UPS 20 - 30	75	Ricircolo acs

Fig. 6.30 Confronto pompe di circolazione.

Impianto di illuminazione

L'illuminazione è garantita da diverse tipologie di lampade a LED. Il piano seminterrato e il piano terra sono serviti da lampade Philips di dimensioni 60x60 cm, costituite ciascuna da 4 tubi a Led TL-D 18 W/33-640, per una potenza totale per ciascun apparecchio di 72 W.

Al primo piano sono presenti lampade LED Mazdafluor, costituite da 2 tubi TF 36W/BI, per una potenza totale per ciascun apparecchio di 72 W.

La palestra è illuminata da fari LED da parete da 489 W, mentre negli spogliatoi sono presenti lampade LED 20x120 cm di potenza 36 W, suddivise in due tubi.

L'impianto di illuminazione complessivamente necessita di una potenza pari a 15.721 W.

L'inserimento dei dati relativi all'impianto di illuminazione è richiesto nel Layout nei parametri di ogni locale, una volta associati alla rispettiva zona termica.

Parametri locale "Aula 1" al piano seminterrato, dati illuminazione.

TIPOLOGIA	UBICAZIONE	N. TUBI	N. LAMPADE	POTENZA UNITARIA (W)	POTENZA TOTALE (W)
Lampada LED 60X60	Seminterrato, piano terra	4	109	72	7957
Lampada LED 30x120	Primo piano	2	48	72	3456
Lampada LED 20x120	Spogliatoi palestra	2	4	36	144
Fari LED	Palestra	X	8	489	3912
Plafoniere stagne	Cucina e servizi	4	7	36	252

Fig. 6.31 Impianto di illuminazione.

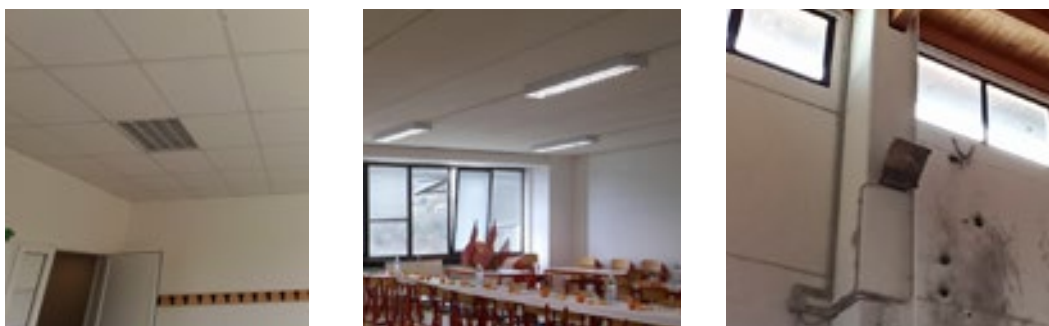
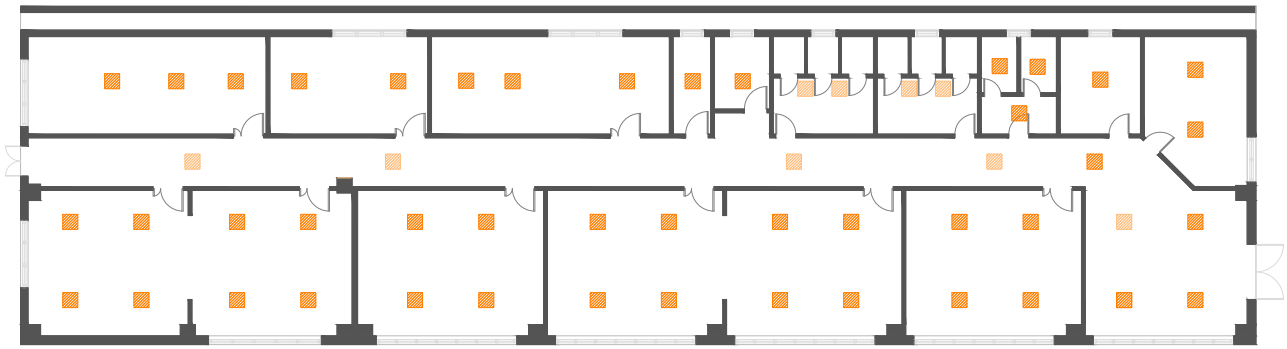


Fig. 6.32 Apparecchi illuminanti: luci a incasso, tubi led, fari led.

Pianta piano seminterrato (scuola media)



Pianta piano terra (scuola elementare)



LEGENDA COMPONENTI	
	Neon 4*18 Watt
	Neon 4*18 Watt EMERGENZA
	Neon 2*36 Watt
	Neon 2*36 Watt EMERGENZA
	Faro LED 489 Watt
	Plafoniera stagna

Pianta primo piano (scuola materna)



6.3.4 Zone termiche

Una zona termica, come definito dalla Norma UNI/TS 11300-1, è una parte dell'ambiente climatizzato, attraverso una o più centrali, con caratteristiche uniformi di temperatura ed eventualmente di umidità. Ogni porzione di edificio, comprendente tutti i locali climatizzati ad una determinata temperatura con le medesime modalità di regolazione, costituisce una zona termica.

Nel nodo Edifici è possibile inserire le informazioni relative alle zone termiche non calcolate nel primo sotto-nodo, sia quelle oggetto di calcolo nel secondo sotto-nodo "Edificio". Le zone termiche non calcolate comprendono entrambi gli ambienti confinanti con l'edificio non riscaldati, oppure riscaldati tramite un impianto non oggetto dello studio.

Per ogni zona termica non calcolata viene richiesto il metodo di calcolo al fine di definire il fattore di correzione dello scambio termico tra ambiente climatizzato e non climatizzato. In questo caso si è scelto il calcolo in base al tipo di locale, a seconda del quale viene automaticamente assegnato un b_{tr} (fattore di correzione) alla zona. In questa sezione è possibile segnalare l'eventuale assenza dell'impianto di illuminazione, in modo tale che la finestra relativa alla compilazione di tali dati nel Layout non compaia del tutto.

Fig. 6.33 Dati zona termica non calcolata "intercapedine".

Fig. 6.34 Dati zona termica non calcolata "vano scale".

Nel sotto-nodo successivo si inseriscono i dati generali dell'edificio le cui zone termiche invece saranno oggetto di calcolo. È richiesto anche di associare la centrale termica.

A questo punto è possibile suddividere l'edificio in eventuali diversi subalterni. Nel caso in analisi si è scelto di inserire un solo subalterno, il quale si riferisce all'interno complesso scolastico. Quest'ultimo è stato poi ulteriormente suddiviso nelle zone termiche: per semplicità, sebbene i tre gradi scolastici presenti siano climatizzati alla medesima temperatura e con le medesime modalità, sono state create tre zone termiche, una per ogni piano (scuola media, scuola elementare e scuola materna) nell'ottica di interventi futuri. Al primo piano è presente un'aula riscaldata da uno split alimentato da una pompa di calore, ma si è scelto di immetterla nella stessa zona termica del piano in cui è situata.

Infine, per la loro differente classificazione, sono state create le zone termiche relative a palestra, con spogliatoi, servizi igienici e ingresso dedicato, e la mensa con la cucina e servizi adibiti.

Per ciascuna zona è richiesta la compilazione dei dati relativi a involucro, ventilazione, impianto, riscaldamento, acqua calda sanitaria, centrali elettriche e gruppi di trasporto (non presenti nell'edificio in oggetto).

Per ogni sottosezione è necessario effettuare la compilazione dei dati, in alcuni casi con la possibilità di effettuare un calcolo automatico tramite il software:

- Nella sezione Involucro è necessario assegnare una classificazione d'uso alla zona termica, tramite la cui scelta vengono assegnate le temperature di progetto invernali ed estive. È possibile effettuare automaticamente il calcolo del volume richiesto di acqua calda (in l/g), attraverso la scelta del tipo di attività svolta e del numero di utenti.

Si segnala che nel caso della zona Mensa e cucina, non trattandosi di un vero e proprio ristorante, tale dato è stato inserito manualmente, selezionando un fabbisogno specifico di 8 l/g, invece di 65 l/g.

Si procede poi al calcolo del fattore di ripresa del riscaldamento (fRH), impostando la caduta di temperatura per l'attenuazione, la massa dell'edificio e il tempo di ripresa. Per tutte le zone termiche del progetto i dati inseriti sono rispettivamente 2°C, media e 2 ore, per cui si è ottenuto un fRH di 16W/m².

- Nella sezione Ventilazione si specifica eventualmente la presenza di sistemi meccanici. È possibile assegnare una portata minima di progetto a tutti i locali collegati alla zona termica. Nel caso in oggetto come si vedrà in seguito si è scelto di svolgere il calcolo, o di inserire arbitrariamente i dati, nell'apposito menu, presente per ogni singolo locale nel Layout. Ad esempio, si è impostato un ricambio d'aria orario nullo per tutti i corridoi, i ripostigli e gli antibagni.
- Nella sezione Impianto è necessario segnalare l'eventuale assenza di uno o più servizi, tra riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria, raffrescamento e illuminazione. L'unico servizio non effettuato dagli impianti dell'edificio in oggetto è il raffrescamento.
- Nella sezione Riscaldamento vanno inseriti i dati relativi ai sottosistemi di emissione,

di regolazione e di distribuzione. Nel caso della presenza di terminali di emissione differenti è possibile aggiungere uno o più sistemi secondari. Per esempio, sia al piano seminterrato che al piano terra, il riscaldamento dei corridoi è effettuato in entrambi i casi tramite due ventilconvettori, che sono stati inseriti come Sistema 2.

- Nella sezione Acqua calda sanitaria sono richiesti i dati relativi al sottosistema di distribuzione. Negli ausiliari elettrici viene inserita la potenza della pompa di ricircolo, ripartita in ogni zona secondo il rispettivo fabbisogno.
- Nella sezione Centrali elettriche, ogni zona termica è stata associata alla centrale con generatore fotovoltaico, compilata precedentemente.
- Si assegnano poi gli eventuali gruppi di trasporto afferenti alle zone, che non sono presenti nell'edificio in oggetto.

Involucro | Ventilazione | Impianto | Riscaldamento | **Acqua calda sanitaria** | Centrali elettriche | Gruppi di trasporto

Classificazione zona termica: 6,7 | Temperatura di progetto invernale: 20,0 °C
 Temperatura di progetto estiva: 26,0 °C

Produzione acqua calda sanitaria

Volume richiesto acqua calda: 11.800 l/g

Fattore di ripresa del riscaldamento: 16 l/g/m²

Volume lordo riscaldato: 2.451,174 m³
 Superficie dipendente lordo: 1.202,204 m²
 Rapporto S/V: 6,450 l/m
 Superficie utile: 551,849 m²

Involucro | **Ventilazione** | Impianto | Riscaldamento | Acqua calda sanitaria | Centrali elettriche | Gruppi di trasporto

Tipo di ventilazione: Naturale

Ventilatore di riferimento:

Efficienza convenzionale: 0,800 | Anagra portatile manovrata di progetto a tutti i locali della zona termica

Coefficiente correttivo per impianti non: 1,000

Involucro | Ventilazione | **Impianto** | Riscaldamento | Acqua calda sanitaria | Centrali elettriche | Gruppi di trasporto

Impianto di riscaldamento assente
 Impianto acqua calda sanitaria assente
 Impianto di raffrescamento assente
 Impianto di illuminazione assente

Sistemi di recupero del calore da reflui di scarico delle docce:

Sistemi di recupero del calore da reflui di scarico delle docce

Building automation:

Inizio impianto di controllo e automazione | Includi dalle ventole

Involucro Ventilazione Impianto Riscaldamento Acqua calda sanitaria Centrali elettriche Gruppi di trasporto

Sistema 1 Sistema 2 Aggiungi

Centrale termica Centrale termica

Distribuzione centrale Primaria

Sottosistema di emissione

Altezza netta dei locali fino a 4 m

Tipo di terminali Radiatori su parete esterna scelti

Parete riflettente Parete esterna non isolata ($U > 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Rendimento di emissione 96,3 % Potenza ausiliaria 0,0 W

Unità con arresto del ventilatore al raggiungimento della temperatura prefissata

Numero unità terminali 1 Potenza termica unitaria 36,861 W Calcolata

Sottosistema di regolazione

Tipo di regolazione Per singolo ambiente + dinamica

Caratteristiche P banda proporzionale 2 °C

Impianto di riscaldamento Radiatori, convettori, ventilconvettori, stucce radianti

Rendimento di regolazione 97,8 %

Sottosistema di distribuzione

Fluido termovettore Acqua

Distribuzione acqua

Metodo di calcolo delle temperature di mandata e di ritorno
Temperatura di mandata costante e portata variabile

Temperatura mandata di progetto 80,0 °C

Temperatura ritorno di progetto 60,0 °C

Metodo di calcolo delle perdite di distribuzione
UNI/TS 11300-2 - Progettazione 21/02/03 - Semplificato

Rendimento di distribuzione 88,70 % Potenza ausiliaria 200,7 W

Unità con arresto della pompa alla fermata del generatore durante il tempo di attivazione

Involucro Ventilazione Impianto Riscaldamento Acqua calda sanitaria Centrali elettriche Gruppi di trasporto

Sistema 1 Sistema 2 Aggiungi

Centrale termica Centrale termica

Distribuzione centrale Primaria

Sottosistema di emissione

Altezza netta dei locali fino a 4 m

Tipo di terminali Ventilconvettori

Rendimento di emissione 96,8 % Potenza ausiliaria 200,7 W

Unità con arresto del ventilatore al raggiungimento della temperatura prefissata

Numero unità terminali 2 Potenza termica unitaria 2,000 W Calcolata

Sottosistema di regolazione

Tipo di regolazione Per singolo ambiente + dinamica

Caratteristiche P banda proporzionale 2 °C

Impianto di riscaldamento Radiatori, convettori, ventilconvettori, stucce radianti

Rendimento di regolazione 97,8 %

Sottosistema di distribuzione

Fluido termovettore Acqua

Distribuzione acqua

Metodo di calcolo delle temperature di mandata e di ritorno
Temperatura di mandata costante e portata variabile

Temperatura mandata di progetto 55,0 °C

Temperatura ritorno di progetto 45,0 °C

Metodo di calcolo delle perdite di distribuzione
UNI/TS 11300-2 - Progettazione 21/02/03 - Semplificato

Rendimento di distribuzione 90,68 % Potenza ausiliaria W

Unità con arresto della pompa alla fermata del generatore durante il tempo di attivazione



Fig. 6.35 Dati involucro, dati ventilazione, dati impianti, dati riscaldamento, dati acqua calda sanitaria della zona termica “Piano seminterrato”.

In seguito, nel Layout si procede all’inserimento delle zone termiche nell’input grafico. Tramite il comando “Nuovo locale” è possibile assegnare un nome e la zona termica di riferimento a ciascun ambiente. La temperatura interna viene assegnata automaticamente in base alla categoria assegnata precedentemente. Si assegna la classe di vapore selezionando la classificazione del locale in oggetto da un menu a tendina.

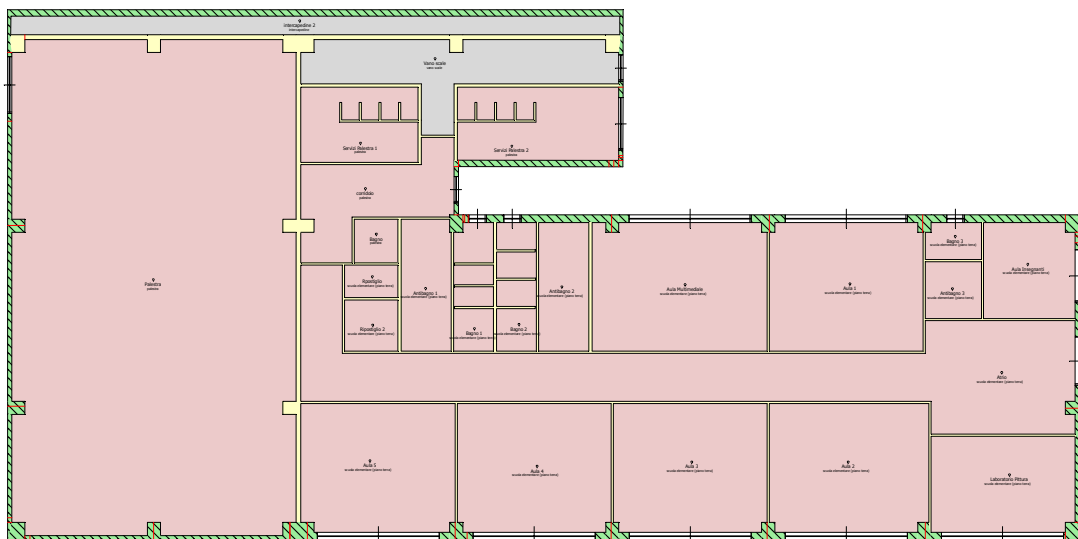


Fig. 6.36 Edifici/Layout/Piano terra.

Parametri locale

Dati geometrici

Posizione: -10,679 , 11,736 m

Quota inferiore: 3,805 m

Quota superiore: 7,360 m

Superficie utile: 41,375 m²

Volume netto: 142,745 m³

Dati strutturali

Nome locale: Aula 1

Zona termica: scuola elementare (piano terra)

Temperatura interna: 20,0 °C

Classe di vapore: Alloggi senza ventilazione meccanica controllata

Dati calcolo potenza terminali

Ricambi d'aria: 0,50 vol/h

Fig. 6.37 Parametri locale “Aula 1” nella zona termica “Piano terra”.

È richiesto poi l’inserimento dei volumi orari di ricambio aria. A tale scopo ogni locale ha un menu a comparsa nel quale, in base alla classificazione e al tipo di locale è possibile eseguire automaticamente il calcolo della portata di ventilazione di riferimento e del fattore di correzione $f_{ve,t}$.

Calcolo portata di ventilazione di riferimento

Classificazione: 6,7

Area: 41,375 m²

Volume: 142,745 m³

Tipo locale: Aula scuola elementare

Tipo di calcolo:

Portata d'aria specifica per persona

Portata d'aria specifica per unità di superficie

Ricambi d'aria

n : 2,423 vol/h

$q_{ve,0}$: 245,829 m³/h

Fattore di correzione $f_{ve,t}$: 0,47

$q_{ve,min}$: 162,544 m³/h

OK Annulla

Fig. 6.38 Parametri locale “Aula 1” nella zona termica “Piano terra”, dati ventilazione.

Un ulteriore menu a comparsa permette di definire, per ogni singolo locale, la tipologia di solaio inferiore e superiore ad esso. Il software calcola in automatico le quote di superficie scambiante con i locali sottostanti e soprastanti: in caso questi siano definiti dalle stesse condizioni termiche del locale in oggetto, viene assegnato automaticamente un solaio indefinito, che implica l'assenza di dispersioni; al contrario, qualora venga rilevata la presenza di una dispersione, il programma segnala la necessità di definire la direzione del flusso (discendente, ascendente), ed eventualmente se questo sia diretto verso una zona termica non calcolata (ad esempio l'intercapedine e il vano scale), oppure se si tratti di contatto con il terreno.

A questo proposito, laddove il software rilevi la presenza sottostante di qualcosa che non sia definito da una zona termica oggetto di calcolo, si rende disponibile l'ultimo dei tre menu a comparsa, nel quale viene richiesto di specificare la tipologia prevalente di scambio con il terreno (pavimento controterra, su intercapedine, piano interrato).

Solaio verso il piano superiore				
Locale adiacente	Area [m ²]	Soffitto	Colore	Zona adiacente
Sala giochi	45,340	Solaio indefinito	---	---

Solaio verso il piano inferiore				
Locale adiacente	Area [m ²]	Pavimento	Colore	Zona adiacente
Ambagno 2	7,366	Solaio indefinito	---	---
Bagno 2	6,206	Solaio indefinito	---	---
Bagno 3	8,119	Solaio indefinito	---	---
Sportellato	2,414	Solaio indefinito	---	---
Intercapedine	7,174	Solaio discendente	---	---
Ambagno 3	4,314	Solaio indefinito	---	---
= Esterno =	9,557	Basamento piano terra verso terreno	Chiaro	---

Fig. 6.39 Parametri locale "Aula 1" nella zona termica "Piano terra", definizione solai.

Tipo di scambio con il terreno:

- Pavimento controterra
- Nessuno
- Pavimento controterra
- Pavimento su intercapedine
- Piano interrato

Fig. 6.40 Parametri locale "Aula 1" nella zona termica "Piano terra", scambi attraverso il terreno.

Per gli edifici adibiti ad uso non residenziale, la norma prevede il calcolo del fabbisogno di illuminazione. A tale scopo per ogni singolo locale è necessario inserire alcuni parametri: l'illuminamento mantenuto, l'altezza del piano di lavoro, la potenza installata (somma totale della potenza delle lampade installate), il fattore di assenza (assegnato in automatico con la scelta della tipologia di locale), i sistemi di controllo per l'ottimizzazione della luce naturale e il tipo di sistema di controllo in funzione della presenza.

Dati illuminazione

Illuminamento mantenuto 500 lux

Altezza piano di lavoro 0,800 m

Potenza installata 288,0 W

Sistemi di controllo per il mantenimento di valori costanti di illuminamento

Fattore di assenza 0,0

Tipo di sistema di controllo per l'ottimizzazione della lu
Manuale

Tipo di sistema di controllo in funzione della presenza
Manuale ON/OFF

Fig. 6.41 Parametri locale "Aula 1" nella zona termica "Piano terra", dati illuminazione.

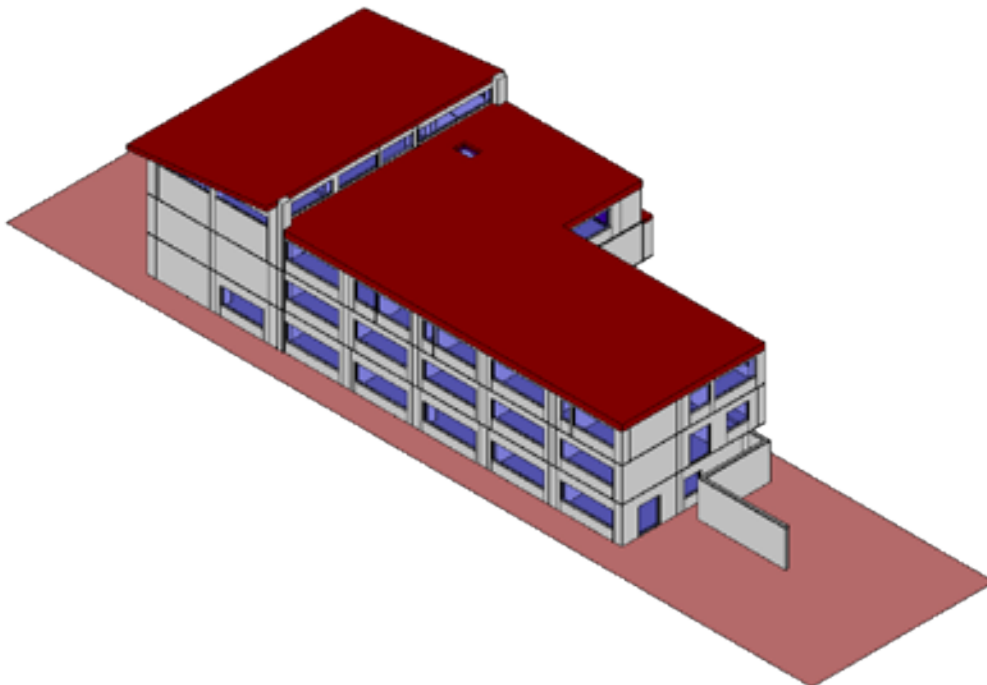
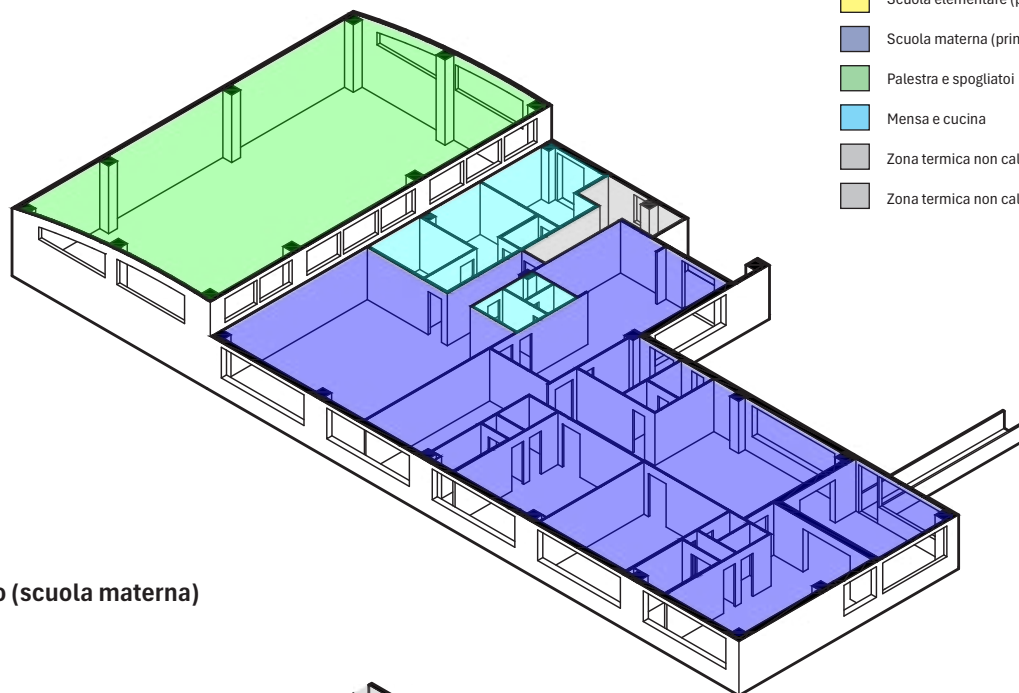


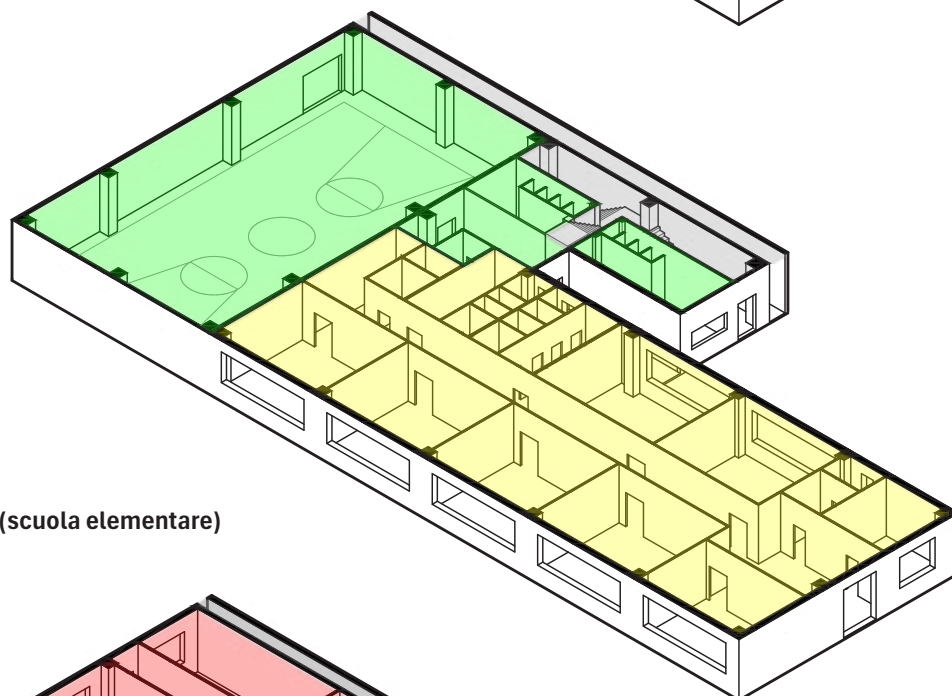
Fig. 6.42 Modello 3D dell'edificio in Namirial Termo 6.5 .

ZONE TERMICHE

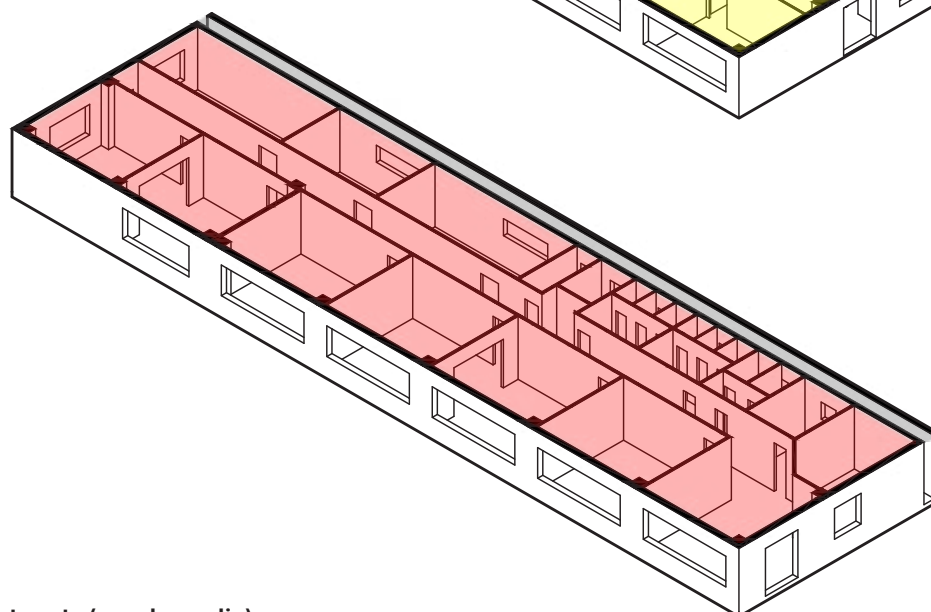
- Scuola media (seminterrato)
- Scuola elementare (piano terra)
- Scuola materna (primo piano)
- Palestra e spogliatoi
- Mensa e cucina
- Zona termica non calcolata: intercapedine
- Zona termica non calcolata: vano scale



Primo piano (scuola materna)

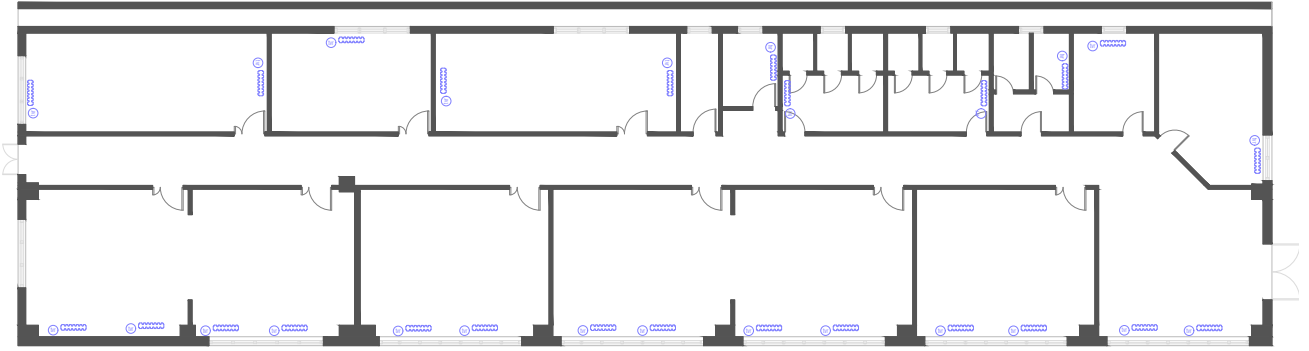


Piano terra (scuola elementare)

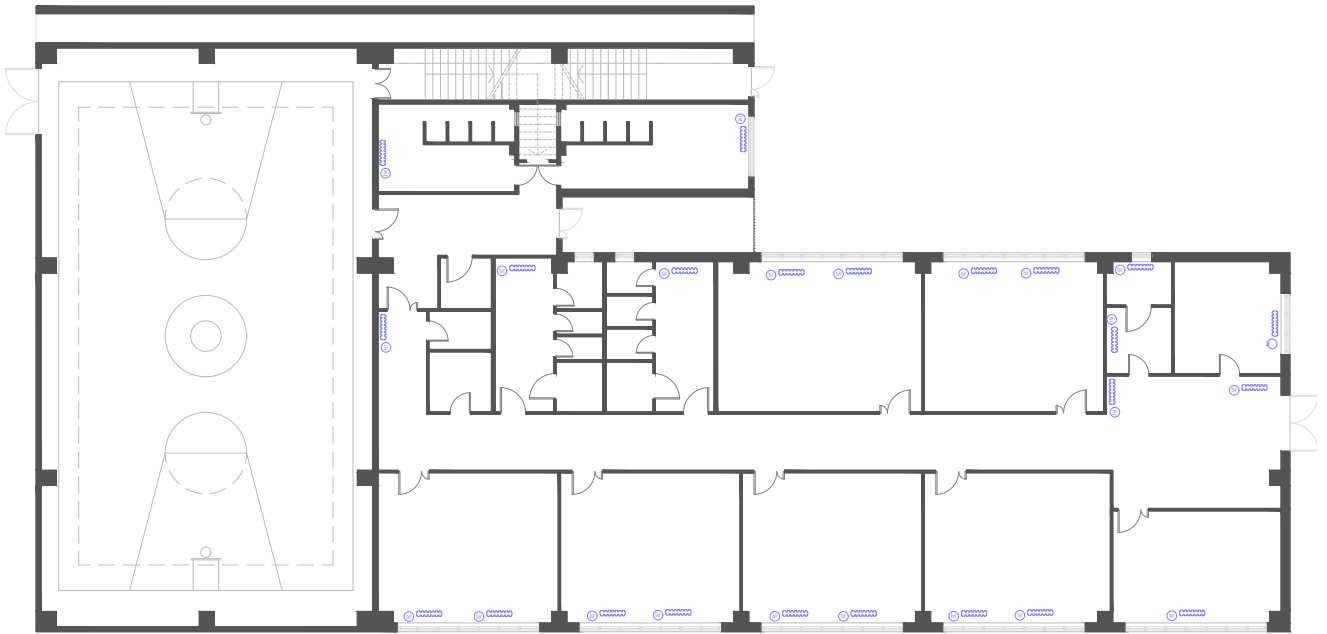


Piano seminterrato (scuola media)

Pianta piano seminterrato (scuola media)



Pianta piano terra (scuola elementare)



Pianta primo piano (scuola materna)



6.4 Valutazione dello stato di fatto

6.4.1 Risultati

Una volta compilati tutti i dati richiesti dal software e ultimato il modello nell'input grafico, si può procedere con i calcoli e con la valutazione della prestazione energetica dell'edificio, di cui verrà determinata la classe.

INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA	Stato di fatto		R. Minimi
Indice di prestazione energetica globale non rinnovabile (EP _{gl,nren})	kWh/m ² anno	149,10	/
Indice di prestazione energetica globale rinnovabile (EP _{gl,ren})	kWh/m ² anno	22,12	/
Indice di prestazione energetica globale totale (EP _{gl,tot})	kWh/m ² anno	171,22	120,86
RENDIMENTO DEGLI IMPIANTI			
Efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale (η _H)		0,76	≥ 0,73
Efficienza media stagionale dell'impianto di prod. acqua calda sanitaria (η _W)		0,80	≥ 0,5
PRESTAZIONE INVERNALE			
Indice di prestazione termica utile per il riscaldamento (EP _{H,nd})	kWh/m ²	89,9	≤ 47,8
Coefficiente medio globale di scambio termico (H ⁻¹)	W/m ² K	1,01	≤ 0,8
PRESTAZIONE ESTIVA			
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento (EPC _{nd})	kWh/m ²	12,70	≤ 14,84
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile (Asol _{est/Asup,utile})		0,057	≤ 0,04

Fig. 6.43 Confronto prestazioni edificio e requisiti minimi.

Risultati di calcolo												
Dati energetici edificio												
Certificazione	EP _{gl,nren}	EP _{gl,ren}	EP _{gl,tot}	EP _{H,nd}	EP _{C,nd}	EP _{gl,tot}	UM EP	etot	etotW	etotC	CO ₂ [kg/m ²]	Classe
Subalterno	116,5	10,0	9,0	0,0	22,6	0,0	149,1 kWh/m ²	6,7640	0,7973	---	23,07	C
Fabbrico riscaldamento con ventilazione elettiva della certificazione [kWh]												
Mese	Q _H	Q _{Hve}	Q _{Hre}	Q _{H,ca}	Q _{H,op}	Q _H	Q _{H,ca}	Q _{H,op}	Q _{H,nd}	Q _{H,grout}	Q _{H,renH}	Q _{H,estH}
Gennaio	26.475,3	24.580,5	6.509,6	0,0	0,0	0,0	7.038,7	902,9	39.367,9	48.856,5	51.674,6	461,7
Febbraio	22.163,3	19.425,9	6.241,0	0,0	0,0	0,0	8.657,7	1.327,3	27.152,3	33.367,1	34.986,5	403,7
Marzo	20.388,6	18.670,3	6.509,6	0,0	0,0	0,0	11.774,5	2.294,0	21.533,8	26.289,5	27.112,9	427,8
Aprile	4.752,7	4.642,9	3.343,4	0,0	0,0	0,0	4.179,0	1.332,6	5.309,2	6.448,1	6.326,0	104,7
Novembre	21.252,7	18.296,8	6.686,7	0,0	0,0	0,0	9.414,9	1.262,3	24.087,8	29.445,2	33.719,0	409,4
Dicembre	35.944,5	34.273,3	6.509,6	0,0	0,0	0,0	8.422,9	1.022,2	58.573,9	72.274,5	77.416,8	588,2
	138.993,1	121.894,7	36.999,9	0,0	0,0	0,0	51.427,7	8.081,1	176.264,8	215.081,4	228.231,1	2.475,7
Riscaldamento ACS Raffrescamento Ventilazione Illuminazione Trasporti Energia elettrica prodotta												

Fig. 6.44 Risultati di calcolo.

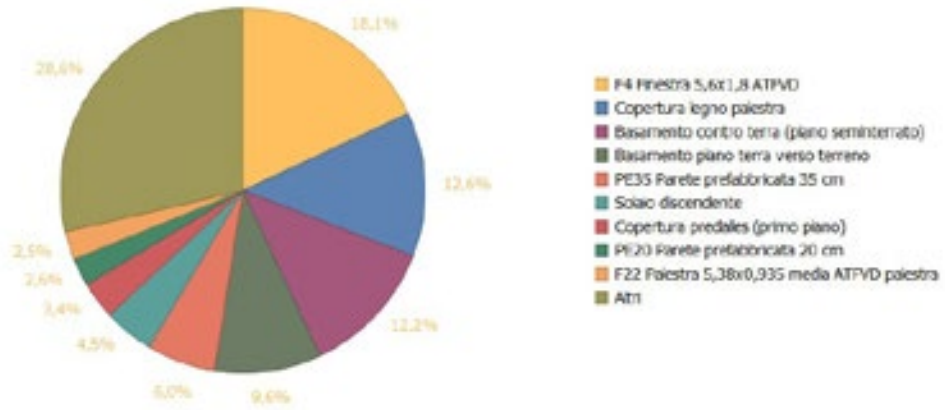


Fig. 6.45 Dispersioni per tipologia di struttura.

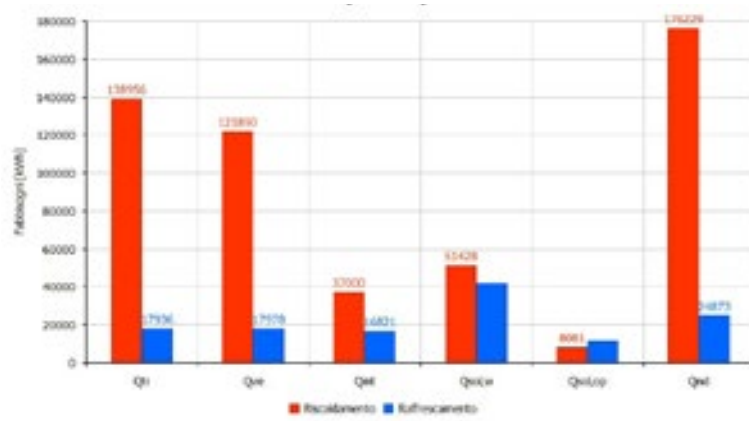


Fig. 6.46 Fabbisogni di energia utile.

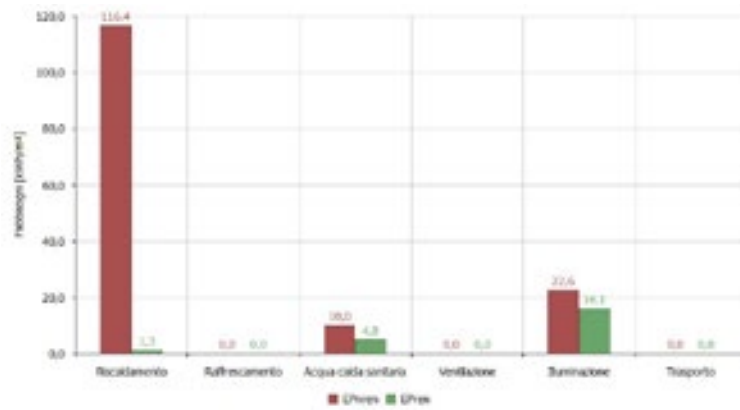


Fig. 6.47 Fabbisogni di energia primaria.

6.4.2 Attestato di Prestazione Energetica

Ai sensi dell'attestato di prestazione energetica, l'edificio ha un indice di prestazione energetica globale ($EP_{gl,nren}$) pari a $149,1 \text{ kWh/m}^2$ anno, corrispondente ad una classe energetica C, in conformità con il DM 26/6/15.

Si attesta che la prestazione energetica del fabbricato risulta insoddisfacente sia in stagione invernale che in stagione estiva, come indicato dalle emoticon di riferimento a pagina 1.

Le criticità dell'edificio sono dovute in parte alle caratteristiche dell'involucro edilizio, caratterizzato da pareti con inerzia interna molto bassa e posizionamento dell'isolante spesso tra due strati leggeri di c.a., da superfici opache orizzontali prevalentemente prive di isolamento e da serramenti obsoleti e poco performanti; dall'altra parte le componenti impiantistiche non sono particolarmente datate, tuttavia, non sfruttano sufficientemente i sistemi presenti a fonte rinnovabile. Le emissioni di CO_2 risultano essere di $33,97 \text{ kg/m}^2$ anno.








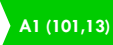



 ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI CODICE IDENTIFICATIVO: 072025 VALIDO FINO AL: 14/12/2035																																										
DATI GENERALI																																										
Destinazione d'uso <input type="checkbox"/> Residenziale <input checked="" type="checkbox"/> Non residenziale Classificazione D.P.R. 412/93: E7 - Edificio adibito ad attività scolastiche a tutti i livelli ed assimilabili	Oggetto dell'attestato <input checked="" type="checkbox"/> Intero edificio <input type="checkbox"/> Unità immobiliare <input type="checkbox"/> Gruppo di unità immobiliari Numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: 1	<input type="checkbox"/> Nuova costruzione <input type="checkbox"/> Passaggio di proprietà <input type="checkbox"/> Locazione <input checked="" type="checkbox"/> Ristrutturazione importante <input type="checkbox"/> Riqualificazione energetica <input type="checkbox"/> Altro: _____																																								
Dati identificativi <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> Regione : Liguria Comune : Stella (SV) Indirizzo : Località Rovieto Inferiore 25 Piano : Interno : Coordinate GIS : 0,00000 ; 0,00000 </div> <div> Zona climatica : D Anno di costruzione: Superficie utile riscaldata: $1959,63 \text{ m}^2$ Superficie utile raffrescata: $0,00 \text{ m}^2$ Volume lordo riscaldato: $9693,91 \text{ m}^3$ Volume lordo raffrescato: $0,00 \text{ m}^3$ </div> </div> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; font-size: small;"> <tr> <td colspan="2">Comune catastale</td> <td colspan="4">Stella (SV)</td> <td colspan="2">Sezione</td> <td colspan="2">Foglio</td> <td>25</td> <td colspan="2">Particella</td> <td>725</td> </tr> <tr> <td>Subalterni</td> <td>da</td> <td>1</td> <td>a</td> <td>1</td> <td>da</td> <td>a</td> <td>da</td> <td>a</td> <td>da</td> <td>da</td> <td>a</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="13">Altri subalterni</td> </tr> </table>			Comune catastale		Stella (SV)				Sezione		Foglio		25	Particella		725	Subalterni	da	1	a	1	da	a	da	a	da	da	a		Altri subalterni												
Comune catastale		Stella (SV)				Sezione		Foglio		25	Particella		725																													
Subalterni	da	1	a	1	da	a	da	a	da	da	a																															
Altri subalterni																																										
Servizi energetici presenti <input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale <input type="checkbox"/> Climatizzazione estiva <input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica <input checked="" type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria <input checked="" type="checkbox"/> Illuminazione <input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose																																										
PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO																																										
La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.																																										
Prestazione energetica del fabbricato <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th>INVERNO</th> <th>ESTATE</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	INVERNO	ESTATE			Prestazione energetica globale  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> EDIFICIO A ENERGIA QUASI ZERO CLASSE ENERGETICA C $EP_{gl,nren}$ 149,07 kWh/m^2 anno </div>	Riferimenti Gli immobili simili a questo avrebbero in media la seguente classificazione: Se nuovi:  Se esistenti: 																																				
INVERNO	ESTATE																																									
																																										

Fig. 6.48 Attestato di Prestazione Energetica Stato di fatto (pag. 1).