

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE A CICLO UNICO INGEGNERIA
EDILE- ARCHITETTURA**

TESI DI LAUREA

in

Architettura tecnica

**INTEGRAZIONE EDIFICIO-IMPIANTI NELLO SVILUPPO
DI UN SISTEMA COSTRUTTIVO PREFABBRICATO**

CANDIDATO
Alessio Vismara

RELATORE
Prof.ssa Annarita Ferrante

CORRELATORI
Prof. Giovanni Semprini
Prof.ssa Cecilia Mazzoli

Anno Accademico 2023/2024

Sessione IV

ABSTRACT

La presente tesi si colloca in linea con gli obiettivi prefissati dell'Unione Europea per il raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050, di cui la riqualificazione sostenibile del patrimonio edilizio esistente rappresenta una delle sfide principali.

Il progetto propone un sistema modulare e prefabbricato, concepito per attuare un intervento di riqualificazione architettonica ed efficientamento energetico degli edifici realizzati con una struttura a telaio. Grazie all'implementazione di componenti di involucro edilizio integrati, assemblabili a secco e dunque reversibili, il sistema "plug and play" è stato concepito per essere incrementato progressivamente nel tempo, a seconda delle specifiche esigenze degli utenti e dei requisiti prestazionali ricercati in funzione della normativa locale. In particolare, la tesi si è focalizzata sull'analisi di soluzioni progettuali per l'integrazione di componenti edili specifici, come infissi e dispositivi oscuranti, ed impiantistici, tra cui sistemi HVAC miniaturizzati e pannelli fotovoltaici, selezionabili dall'utente in funzione dei requisiti prestazionali ricercati.

Le analisi sviluppate hanno previsto la modellazione 3D digitale dei componenti al fine di ottimizzarne la progettazione integrata all'interno di un unico sistema facilmente assemblabile in grado di rispondere ai requisiti di efficienza energetica e resa estetica. Inoltre, la modellazione e le analisi svolte hanno consentito di simulare e analizzare le fasi di posa del sistema costruttivo, valutandone la fattibilità tecnica, con l'obiettivo di limitare l'invasività dell'intervento. Pertanto, le modalità di posa in opera previste non necessitano dell'installazione di ponteggi né dell'esecuzione di lavorazioni invasive, portando a conseguenti benefici in termini di riduzione dei tempi di posa e dell'impatto economico ed ambientale dell'intervento di riqualificazione profonda.

SOMMARIO

1. Introduzione	1
2. Contesto e sistemi costruttivi per la riqualificazione edilizia	2
2.1 Caratterizzazione del patrimonio edilizio esistente recente	2
2.2 Sostenibilità e direttive energetiche in UE e Italia	6
2.3 Obiettivi della ricerca e metodologia progettuale	10
2.4 Stato dell'arte delle soluzioni prefabbricate e modulari	11
3. Progettazione e integrazione impiantistica	20
3.1 Il sistema costruttivo proposto	20
3.2 Modularità e adattabilità	21
3.3 Componenti edilizi e impiantistici integrati	25
3.4 Soluzioni tecniche per l'integrazione impiantistica	32
3.5 Facilità di manutenzione e gestione degli impianti	46
3.6 Simulazioni delle fasi di montaggio e verifica di fattibilità tecnica	51
3.7 Viste e sezioni delle soluzioni	59
4. Conclusioni e sviluppi futuri	70
5. Bibliografia	71
6. Sitografia	73

INTRODUZIONE

La riqualificazione sostenibile del patrimonio edilizio esistente rappresenta una delle sfide principali nel settore delle costruzioni, in linea con gli obiettivi europei per il raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050. Gli edifici realizzati negli ultimi decenni con sistemi a telaio in c.c.a. costituiscono una tipologia ampiamente diffusa in Italia, e non solo, ma spesso caratterizzata da problematiche in termini di efficienza energetica e impatto ambientale.

La presente tesi si focalizza sullo sviluppo di un sistema innovativo, modulare e reversibile, progettato per combinare la riqualificazione architettonica con l'efficientamento energetico. Il sistema integra componenti edilizi e impiantistici assemblabili a secco, garantendone flessibilità, semplicità di posa e personalizzazione in base alle esigenze specifiche degli utenti. La modularità e l'adattabilità consentono inoltre un'implementazione nel tempo, permettendo di ottimizzare le risorse disponibili e di rispondere a esigenze future.

Un aspetto centrale del progetto è rappresentato dalla riduzione dei costi e dei tempi di montaggio rispetto agli interventi tradizionali. Grazie all'adozione di soluzioni prefabbricate, le modalità di posa prevedono l'eliminazione dell'uso di ponteggi e lavorazioni invasive, con conseguenti benefici sia in termini economici che di sostenibilità. Questa semplificazione del processo esecutivo riduce al minimo l'impatto sull'edificio e sull'ambiente circostante, rendendo il sistema particolarmente adatto agli interventi di riqualificazione profonda.

Attraverso l'uso di strumenti digitali e la modellazione tridimensionale, è stato possibile simulare le fasi di assemblaggio e verificarne la fattibilità tecnica delle soluzioni proposte. Questo approccio ha permesso di ottimizzare il progetto non solo dal punto di vista tecnico ed estetico, ma anche in termini di durabilità e facilità di manutenzione.

Infine, il lavoro intende dimostrare come l'integrazione di soluzioni modulari e prefabbricate possa contribuire a migliorare la qualità e l'efficienza del patrimonio edilizio, promuovendo interventi economicamente accessibili, sostenibili e rapidi da realizzare.

2. CONTESTO E SISTEMI COSTRUTTIVI PER LA RIQUALIFICAZIONE EDILIZIA

2.1 Caratterizzazione del patrimonio edilizio esistente recente

Il patrimonio edilizio italiano è vasto e variegato, con una predominanza di edifici residenziali che rappresentano, secondo rapporto ISTAT 2024 (www.istat.it) circa l'80% del totale. Analizzando la distribuzione percentuale dei fabbricati costruiti nelle diverse regioni italiane, con particolare riferimento sia al totale degli edifici sia ai complessi edilizi, i risultati evidenziano una maggiore concentrazione di complessi edilizi in Lombardia, che rappresenta oltre il 20% del totale nazionale. La Lombardia, insieme alla Sicilia, si distingue anche per il più alto numero di edifici costruiti, con una percentuale pari al 12% del totale. Altre regioni con un numero significativo di edifici costruiti, superiore al milione di unità (oltre il 7%), includono Veneto, Piemonte, Puglia e Campania, seguite da Lazio, Emilia-Romagna e Calabria, che presentano valori leggermente inferiori al milione (superiori al 6%). Per quanto riguarda i complessi edilizi, Lazio, Emilia-Romagna e Veneto, dopo la Lombardia, mostrano una concentrazione significativa, pari rispettivamente all'8.8%, 8.0% e 7.8%.

Le regioni con la minore percentuale di edificato includono Valle d'Aosta, Umbria, Molise, Marche e Basilicata. In generale, la distribuzione del costruito è coerente con la densità di popolazione residente. Considerando il rapporto tra popolazione e numero di fabbricati costruiti, abbiamo un valore medio di 3.9 edifici per abitante a livello nazionale, con alcune eccezioni significative: Lombardia e Lazio mostrano un valore superiore a 5.5, mentre Valle d'Aosta e Molise si attestano sotto il valore di 2.5.

Analizzando le destinazioni d'uso, emerge che oltre l'84% degli edifici è accatastato come residenziale, il 10% è classificato come non residenziale e il 5.1% è inattivo. Tra gli edifici non residenziali, le destinazioni prevalenti sono il settore produttivo (2.0%), il commerciale (1.7%) e i servizi (1.2%). Per quanto riguarda i complessi edilizi, invece, le principali destinazioni d'uso sono produttivo (24.3%), servizi (23.7%) e commerciale (10.0%). Circa il 13.5% dei complessi edilizi risulta inutilizzato a causa di condizioni strutturali critiche, stato di abbandono o incompletezza al momento del censimento.

Relativamente alle nuove costruzioni, i dati riportati dall'annuario statistico Istat evidenziano un incremento delle edificazioni residenziali pari al 16% rispetto al 2017, mentre gli edifici non residenziali mostrano una crescita media del 22%, sebbene con andamento irregolare. Nonostante l'aumento delle nuove costruzioni, caratterizzate da prestazioni energetiche superiori rispetto agli edifici esistenti, la maggior parte del patrimonio edilizio italiano risale a epoche precedenti alle normative più stringenti in

materia di efficienza energetica. Oltre l'85% degli edifici è stato costruito prima del 1991, con circa il 25% antecedente al 1945. Gli edifici realizzati dopo il 2005 rappresentano appena il 6.8% del totale nazionale, con una concentrazione prevalente in Lombardia, Veneto, Lazio, Sicilia ed Emilia-Romagna.

Riguardo la tipologia costruttiva degli edifici, secondo dati ENEA possiamo vedere che in Italia, la tipologia costruttiva predominante è la muratura portante, che rappresenta il 57,2% degli edifici, seguita dal calcestruzzo armato, con il 29,5%. Questo trend è abbastanza uniforme su tutto il territorio nazionale, ad eccezione della Sicilia, dove la differenza percentuale tra edifici in muratura e quelli in calcestruzzo è minima,

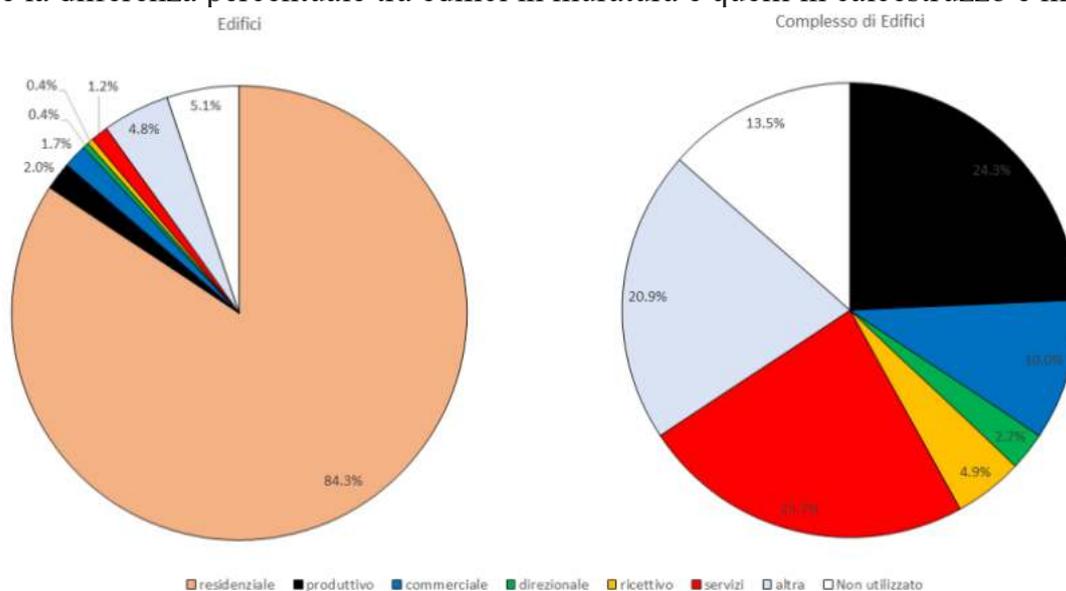


FIGURA 1: Ripartizione percentuale delle unità del costruito per le diverse destinazioni d'uso (Fonte: ENEA, Report RdS_PTR_2019_037, 2019)

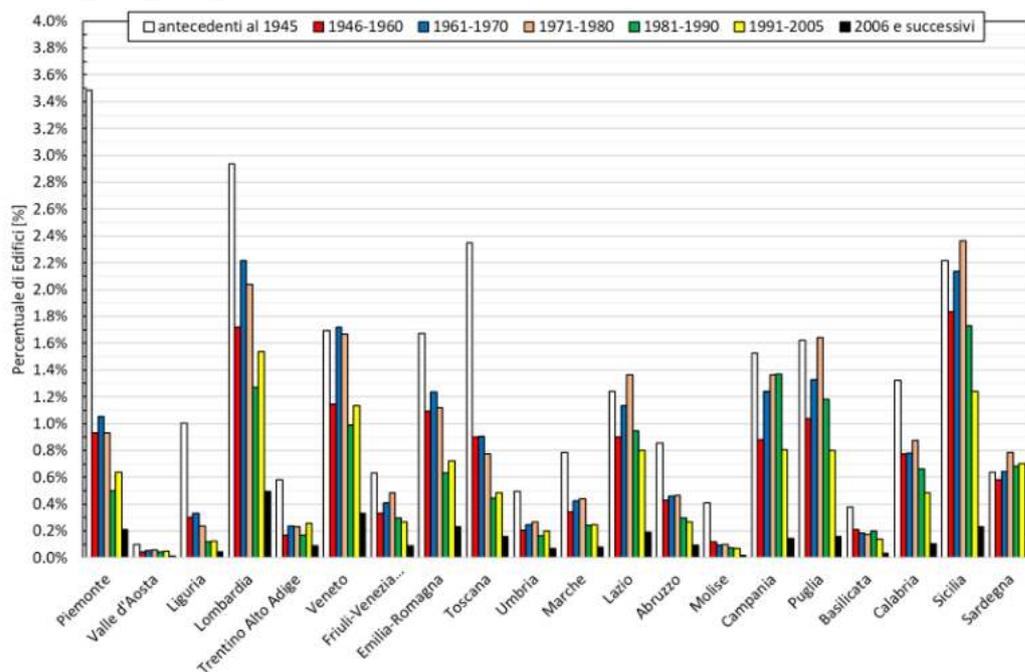


FIGURA 2: Distribuzione percentuale delle unità del costruito nelle diverse regioni italiane per epoca di costruzione (Fonte: ENEA, Report RdS_PTR_2019_037, 2019)

attestandosi intorno all'1%. Secondo il rapporto ENEA (www.enea.it) Questi edifici, pur essendo robusti dal punto di vista strutturale, presentano spesso inefficienze energetiche significative. Solo il 25% degli edifici certificati appartiene alla classe A o superiore, mentre la maggior parte si trova nelle classi inferiori.

Considerando gli aspetti dimensionali, si nota che la superficie utile degli edifici, analizzata in base alla distribuzione territoriale italiana sia per area geografica (nord-ovest, nord-est, centro, sud e isole) che per regione, presenta una distribuzione abbastanza omogenea. La maggior parte degli edifici ha una superficie utile compresa tra 60 e 120 m² in tutte le zone d'Italia. Tuttavia, regioni come Lombardia, Veneto, Piemonte, Emi-

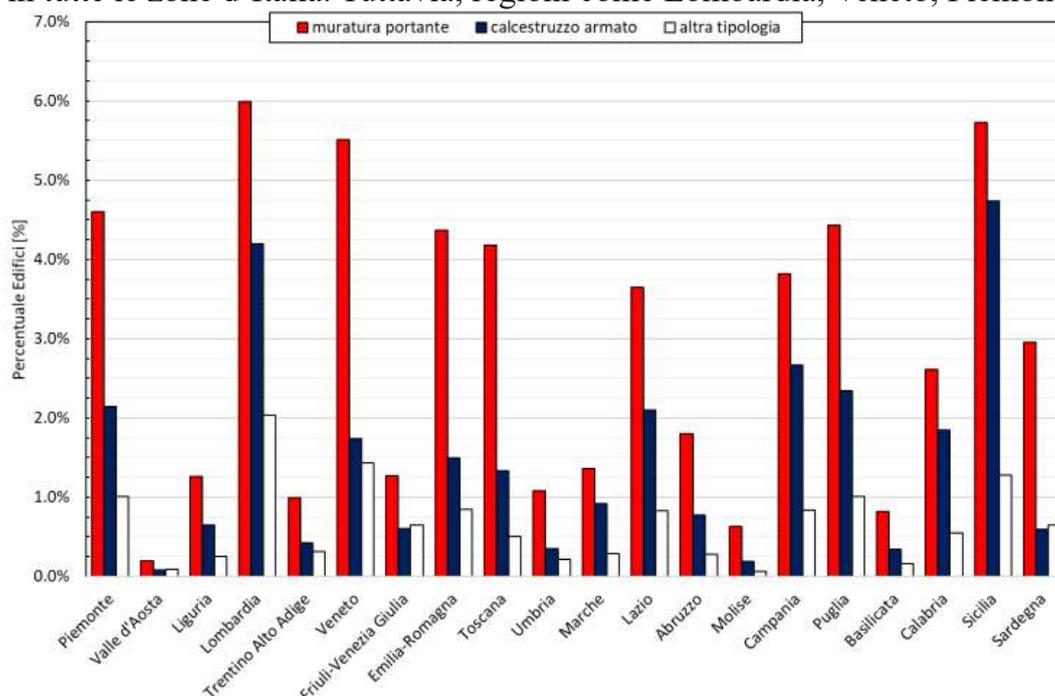


FIGURA 3: Percentuale degli edifici residenziali ripartita per le diverse regioni italiane e realizzata in muratura portante, in calcestruzzo armato o da altra tipologia costruttiva (Fonte: ENEA, Report RdS_PTR_2019_037, 2019)

lia-Romagna, Toscana, Lazio, Campania e Sicilia si distinguono per una percentuale maggiore di edifici con superfici utili superiori ai 150 m².

L'analisi della superficie media degli edifici in relazione all'epoca di costruzione e alla tipologia edilizia rivela dati interessanti. Le case unifamiliari, ad esempio, mostrano una superficie media più elevata rispetto ad altre tipologie abitative, con un valore medio di 154,1 m², raggiungendo un picco di circa 200 m² per gli edifici costruiti tra il 1976 e il 1990. Seguono le case a schiera, con una superficie media di 113,8 m², mentre le case in linea e quelle a torre hanno dimensioni medie più contenute, pari rispettivamente a 85,2 m² e 74,1 m².

In termini temporali, l'andamento della superficie media degli edifici mostra una graduale riduzione nel tempo, fatta eccezione per il periodo compreso tra il 1961 e il 1991, in cui si registrano i valori medi più elevati. Questo dato riflette l'evoluzione

delle esigenze abitative e dei modelli costruttivi adottati nel corso dei decenni. Il Rapporto ENEA del 2024 sottolinea come gli incentivi fiscali, come i bonus edilizi,

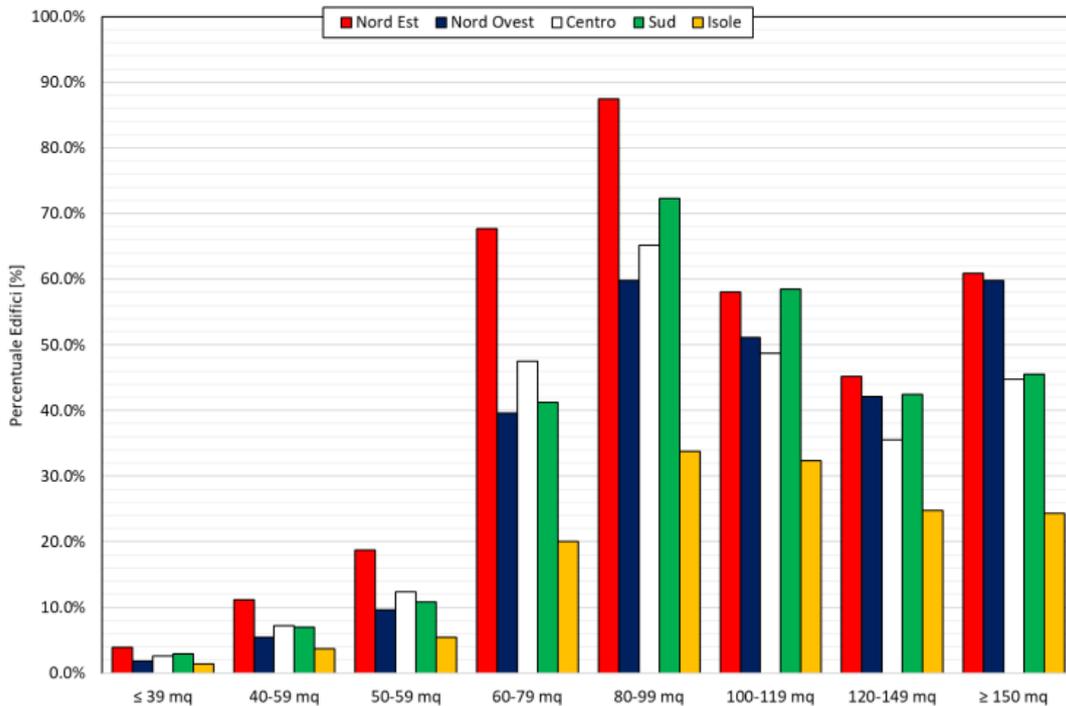


FIGURA 4: Percentuale di edifici residenziali ripartita per le diverse zone geografiche Italiane e caratterizzata da specifici range di superficie utile (Fonte: ENEA, Report RdS_PTR_2019_037, 2019)

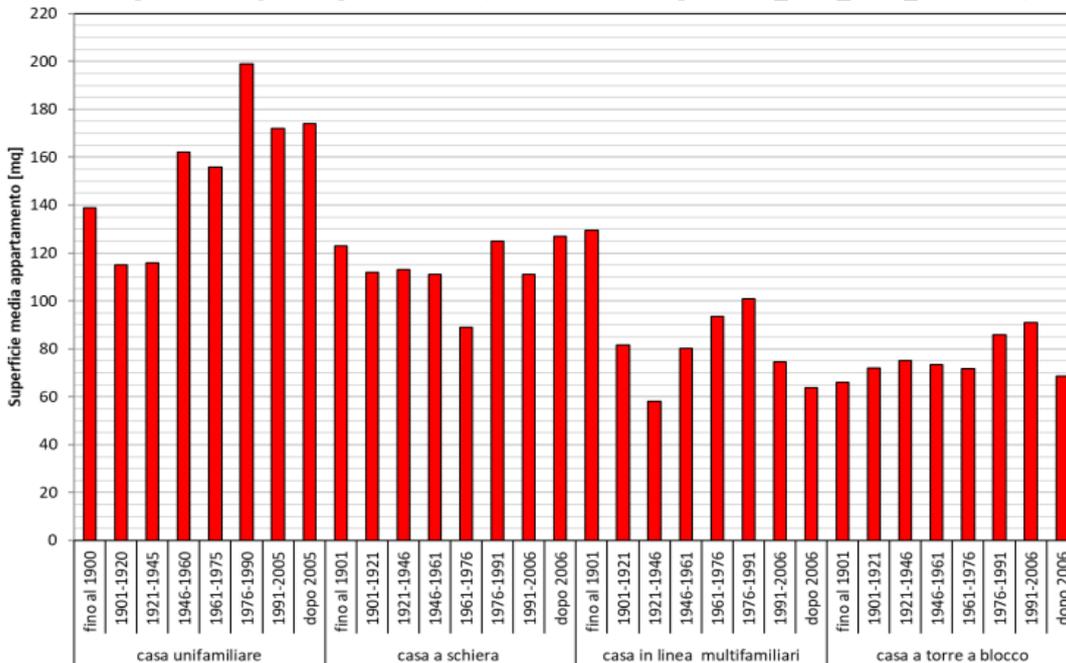


FIGURA 5: Superficie media degli appartamenti per epoca di costruzione e tipologie edilizia (Fonte: ENEA, Report RdS_PTR_2019_037, 2019)

hanno dato un aumento significativo alla riqualificazione energetica. Si stima che oltre 1 milione di interventi di efficientamento siano stati realizzati grazie a tali misure. Oltre all'ENEA, altre istituzioni come il Comitato Termotecnico Italiano (CTI) svolgono un ruolo cruciale nella promozione dell'efficienza energetica. Il CTI collabora con aziende e associazioni del settore per sviluppare standard normativi e metodologie che

supportano la transizione verso un patrimonio edilizio più sostenibile. La certificazione energetica non è solo un dispositivo tecnico; rappresenta anche un motivo culturale per sensibilizzare cittadini e professionisti sull'importanza dell'efficienza energetica.

In conclusione, il patrimonio edilizio italiano presenta sfide significative ma anche opportunità straordinarie per la transizione verso un futuro sostenibile. La combinazione di politiche europee, nazionali e regionali sta guidando un cambiamento positivo nel settore edilizio, con l'obiettivo finale di ridurre le emissioni e migliorare la qualità della vita dei cittadini.

ENEA ha evidenziato nel suo rapporto come la consapevolezza collettiva attorno alla certificazione energetica sia fondamentale per il successo delle politiche di transizione energetica. Ogni singolo utente è chiamato a partecipare attivamente a un percorso di cambiamento che non riguarda solo la sfera tecnologica ma anche quella sociale e culturale.

2.2 Problematiche legate all'efficienza energetica e alla sostenibilità

L'Unione Europea ha fissato obiettivi ambiziosi per il 2050, miranti a ridurre le emissioni di gas serra e a promuovere un'economia sostenibile. La direttiva "Case Green" (direttiva EPBD - Energy Performance of Buildings Directive) è centrale in questo contesto, stabilendo che entro il 2030 tutti gli edifici nuovi dovranno essere a zero emissioni. Inoltre, la direttiva richiede che gli edifici esistenti vengano riqualificati per migliorare la loro efficienza energetica. Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) e il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) si allineano con queste direttive, sottolineando l'importanza della riqualificazione energetica come pilastro della transizione ecologica.

Il patrimonio edilizio italiano presenta significative criticità in termini di efficienza energetica, soprattutto negli edifici con struttura a telaio. Questo tipo di costruzioni, diffuso in particolare nel secondo dopoguerra, si caratterizza per una scarsissima capacità isolante dovuta all'assenza di materiali specifici e all'utilizzo di tecnologie costruttive ormai obsolete. Ciò determina consumi energetici estremamente elevati, che gravano sia sull'ambiente sia sui costi di gestione per gli utenti.

Dai dati forniti nel paragrafo precedente possiamo dedurre che la maggior parte degli edifici non ha mai subito interventi significativi di riqualificazione energetica. In particolare, gli edifici costruiti negli anni '60 mostrano consumi annui compresi tra 160 e 220 kWh/m², valori decisamente superiori rispetto agli standard energetici attuali.

La distribuzione temporale del costruito ci evidenzia invece la gravità della situazione: oltre il 55% degli edifici residenziali italiani risale agli anni '60, un'epoca in cui le

normative sull'efficienza energetica erano inesistenti, mentre il 4% degli edifici risale a prima del 1919. Tali edifici, spesso privi di isolamento termico e dotati di serramenti scarsamente performanti, rappresentano un ostacolo significativo al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.

Dal punto di vista normativo, l'Unione Europea ha stabilito un calendario di scadenze vincolanti per la transizione energetica, con l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050.

Il Green Deal europeo (www.europarl.europa.eu) rappresenta un piano strategico per rendere l'Europa il primo continente a impatto climatico zero entro il 2050. Questa iniziativa traccia una chiara linea guida che mira a trasformare il modello attuale attraverso azioni concrete. Tra le priorità troviamo l'ottimizzazione nell'uso delle risorse per favorire un'economia circolare e sostenibile, il recupero degli ecosistemi naturali e la significativa riduzione dell'inquinamento.

A supporto di questa transizione, è stata introdotta la legge europea sul clima, che traduce gli impegni politici in obblighi vincolanti, incentivando gli investimenti nel settore green. Questo approccio integrato richiede il contributo di tutti i settori economici, con interventi che includono:

- Investimenti in tecnologie a basso impatto ambientale.
- Sostegno all'innovazione industriale per favorire processi produttivi più sostenibili.
- Promozione di sistemi di trasporto pubblici e privati più efficienti, economici e rispettosi dell'ambiente.
- Decarbonizzazione del settore energetico, puntando sulle energie rinnovabili.
- Miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici per ridurre il consumo complessivo.

- Collaborazione internazionale per elevare gli standard ambientali su scala globale.

Questo quadro normativo non solo sottolinea l'urgenza di un cambiamento sistemico, ma rappresenta anche un'opportunità per guidare l'Europa verso un futuro più sostenibile, garantendo poi una maggiore competitività economica e qualità della vita per i cittadini.

Tra i principali strumenti legislativi vi sono anche la revisione della Direttiva sulle Prestazioni Energetiche degli Edifici (EPBD) e l'introduzione del Decreto Casa Green in Italia, che recepisce gli obblighi europei.

La direttiva EPBD, approvata il 24 aprile 2024 (www.infobuildenergia.it), prevede:

- La riduzione progressiva del consumo energetico medio del parco edilizio europeo (misurato in kWh/m²/anno) tra il 2020 e il 2050.
- Entro il 2030, il consumo medio di energia primaria degli edifici residenziali dovrà diminuire del 16% rispetto ai valori del 2020.

- Entro il 2035, tale riduzione dovrà raggiungere il 20-22%, con un ulteriore calo progressivo fino al 2050.

In Italia, il Decreto Casa Green (www.biblus.acca.it) stabilisce obiettivi specifici per la riqualificazione energetica degli edifici, con obblighi temporali che includono:

-Entro il 2027, il passaggio obbligatorio degli edifici residenziali alla classe energetica E.

-Entro il 2030, il raggiungimento della classe energetica D.

-Entro il 2033, ulteriori interventi per avvicinarsi agli standard degli edifici a emissioni quasi zero (nZEB).

Tuttavia, secondo il sistema SIAPE, solo una minima parte degli edifici ha beneficiato finora di interventi di riqualificazione significativi. La lentezza nell'applicazione delle normative e la mancanza di incentivi stabili rappresentano un ulteriore ostacolo alla transizione.

Le implicazioni di questa situazione sono evidenti: il settore edilizio italiano contribuisce al 42% del consumo energetico totale e al 35% delle emissioni annuali di gas serra a livello nazionale. La scarsa efficienza energetica degli edifici non solo accentua il problema delle emissioni, ma comporta anche un notevole incremento dei costi energetici per le famiglie e le imprese, rendendo indispensabile una pianificazione più efficace delle politiche di riqualificazione.

Secondo il Rapporto Annuale sulla Certificazione Energetica degli Edifici dell'ENEA, nel 2024 sono stati censiti oltre 10 milioni di Attestati di Prestazione Energetica (APE), evidenziando un crescente interesse verso la certificazione energetica e la riqualificazione degli edifici. Questo rapporto ha mostrato che circa il 40% del parco edilizio è classificato nelle classi energetiche più basse (F e G), rendendo urgente la necessità di interventi di riqualificazione.

Il campione di immobili analizzato da ISTAT nel 2023 è composto per il 49,1% da edifici residenziali e per il 50,9% da edifici non residenziali. Rispetto al 2022, si osserva un incremento della rappresentatività degli immobili non residenziali di circa il 5%. Tra questi, oltre il 50% degli Attestati di Prestazione Energetica (APE) riguarda attività scolastiche e uffici.

Nel settore residenziale degli immobili pubblici certificati, le prestazioni energetiche mostrano un miglioramento rispetto all'anno precedente, con una notevole riduzione degli APE nelle classi energetiche meno efficienti (F e G), ora inferiori al 50%. Anche il settore non residenziale evidenzia risultati migliori rispetto al campione totale, con meno del 25% degli APE nelle classi F e G. Entrambi i settori registrano un aumento degli immobili certificati nelle classi più efficienti (A4-B).

Il miglioramento delle prestazioni energetiche risulta evidente anche in un confronto

storico con i dati raccolti tra il 2015 e il 2022, sebbene in misura meno accentuata. La distribuzione degli immobili pubblici certificati varia a seconda della zona climatica, con una maggiore concentrazione nella zona E, che rappresenta il 54,1% del totale, in aumento rispetto al 2022. La zona D, invece, registra una diminuzione significativa, mentre le zone C e F mantengono una rappresentanza stabile. Rispetto al campione globale, gli edifici pubblici risultano maggiormente presenti nelle zone climatiche E e F.

In relazione al periodo di costruzione, gli immobili pubblici certificati nel 2023 mostrano una distribuzione diversificata. La percentuale di edifici costruiti prima del 1945 è leggermente aumentata rispetto all'anno precedente, mentre quelli edificati tra il 1945 e il 1972 hanno registrato una diminuzione. Al contrario, gli immobili costruiti tra il 1973 e il 1991 sono aumentati, contribuendo a una distribuzione più equilibrata rispetto al campione globale.

Questi risultati evidenziano una crescente attenzione verso la riqualificazione energetica degli edifici pubblici e una diversificazione significativa rispetto al campione globale, sia in termini di zona climatica che di epoca costruttiva.

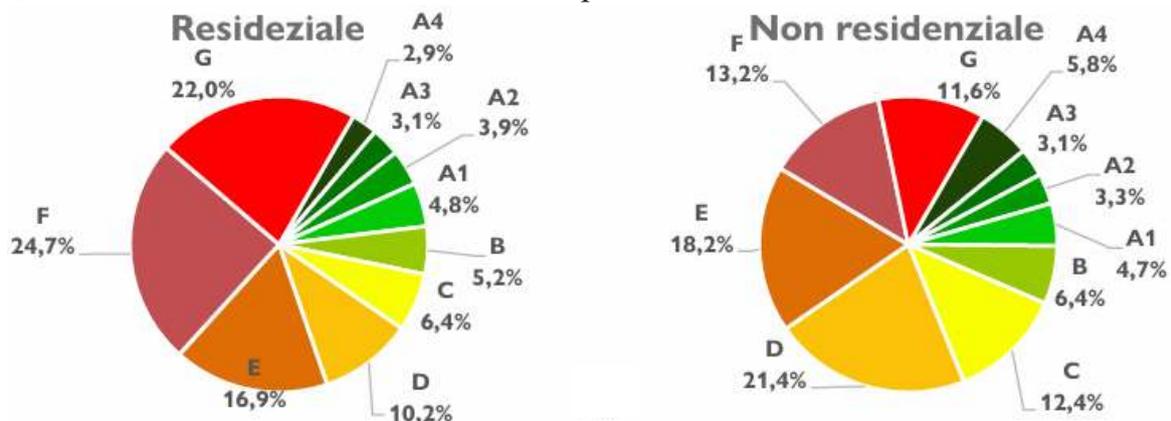


FIGURA 6: Distribuzione percentuale degli APE afferenti alla proprietà pubblica per classe energetica per il settore residenziale e per quello non residenziale (fonti: Regioni e Province Autonome ed ENEA)

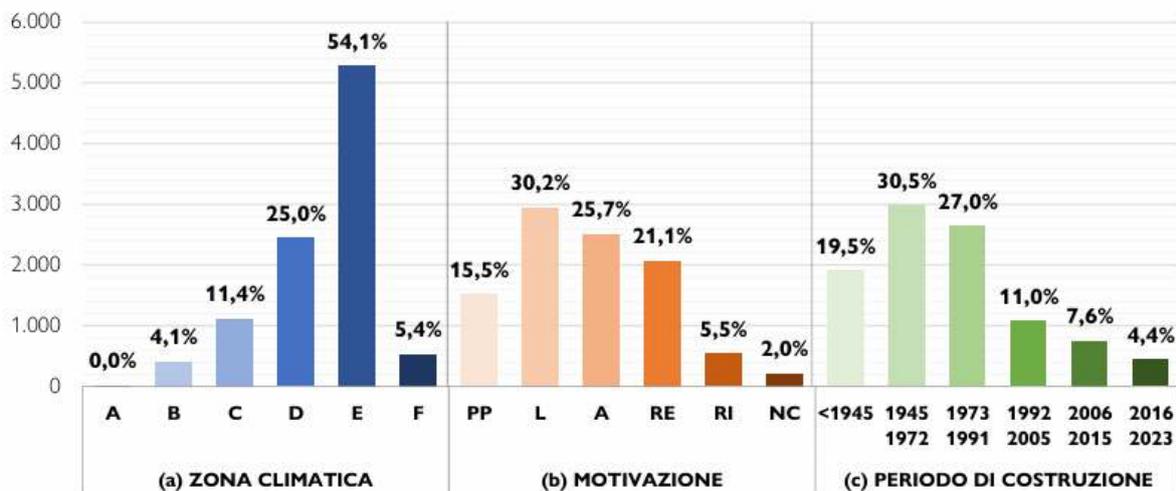


FIGURA 7: Distribuzione degli APE afferenti alla proprietà pubblica per (a) zona climatica, (b) motivazione e (c) periodo di costruzione (fonti: Regioni e Province Autonome ed ENEA)

Destinazione d'uso	APE2023			APE2023 vs APE2022			APE2023 vs SIAPE 2015-2022		
	A4-B	C-E	F-G	A4-B	C-E	F-G	A4-B	C-E	F-G
Residenziale	19,9%	33,4%	46,7%	9,8%	2,3%	-12,1%	12,4%	-3,0%	-9,4%
Non residenziale	23,2%	52,1%	24,8%	5,2%	0,1%	-5,3%	5,9%	-2,6%	-3,3%

FIGURA 8: Percentuale di installazione dei singoli servizi per gli immobili residenziali e non residenziali (fonte: ENEA)

2.3 Obiettivi della ricerca e metodologia progettuale

Lo studio si concentra sull'individuazione di soluzioni innovative per la riqualificazione degli edifici esistenti, con particolare attenzione alla riqualificazione profonda. Questo approccio prevede interventi strutturali ed energetici significativi, volti a migliorare le prestazioni energetiche e spesso anche volumetriche degli edifici esistenti. L'obiettivo è garantire la riduzione dei consumi energetici, la conformità agli standard di sostenibilità e decarbonizzazione promossi dall'Unione Europea e dai vari incentivi nazionali, oltre all'aumento del valore immobiliare degli edifici.

In linea con gli standard NZEB (Nearly Zero-Energy Building), la riqualificazione profonda si basa su interventi strategici (www.infobuildenergia.it), tra cui:

- Isolamento termico dell'involucro.

Ridurre le dispersioni di calore tramite l'installazione di isolanti su superfici opache, come pareti.

- Miglioramento delle superfici trasparenti.

Interventi volti ad ottimizzare l'ombreggiamento o l'isolamento delle superfici vetrate esistenti.

- Impianti efficienti per riscaldamento e raffrescamento.

Integrazione di sistemi avanzati, come pompe di calore o caldaie a condensazione.

Ventilazione meccanica controllata (VMC): per garantire il ricambio d'aria senza perdite termiche.

- Integrazione di fonti rinnovabili.

Utilizzo di pannelli fotovoltaici, solari termici o altre tecnologie sostenibili per ridurre l'impatto ambientale e coprire il fabbisogno energetico.

Oltre agli interventi energetici, la riqualificazione volumetrica rappresenta un elemento chiave per migliorare l'uso e la funzionalità degli spazi abitativi. Ciò include ampliamenti, aggiunta di balconi o logge volte a incrementare il comfort abitativo e l'efficienza funzionale.

All'interno di questo contesto, il progetto integra il concetto di modularità e prefabbricazione per rispondere a necessità di sostenibilità, rapidità e adattabilità.

La metodologia progettuale adottata si basa su un approccio che privilegia l'utilizzo di tecnologie modulari e prefabbricate, con l'obiettivo di garantire interventi rapidi, sostenibili e replicabili. Gli elementi progettati sono realizzati in forma prefabbricata e modulare, con montaggio a secco, una scelta che consente una notevole flessibilità durante la fase di installazione e riduce significativamente i costi e i tempi di cantiere. Questo approccio, oltre a minimizzare gli scarti di lavorazione, migliora la precisione nella posa in opera ottenendo un processo più efficiente e sostenibile.

Le soluzioni adottate seguono quindi un approccio plug-and-play. Questo semplifica non solo la fase di installazione, ma anche le operazioni di manutenzione successive, aumentando la praticità e l'adattabilità delle soluzioni proposte. Gli elementi modulari integrano tecnologie avanzate, come pompe di calore monoblocco, sistemi di isolamento termico e soluzioni per il deflusso delle acque di condensa, massimizzando così l'efficienza complessiva dell'intervento.

un aspetto fondamentale del progetto è l'attenzione alla sostenibilità e alla scalabilità, attraverso l'utilizzo di materiali a basso impatto ambientale e soluzioni adattabili a edifici di diverse dimensioni o complessità. Questo permette di rispondere sia a esigenze di riqualificazione su piccola scala che a interventi più articolati.

Questo approccio offre un modello replicabile, adattabile e innovativo per la riqualificazione degli edifici esistenti, rispondendo in modo efficace alle crescenti necessità di sostenibilità, versatilità e flessibilità richieste nel settore edilizio oggi.

2.4 Stato dell'arte delle soluzioni prefabbricate e modulari

In Europa, numerosi progetti innovativi basati su tecnologie prefabbricate plug-and-play stanno trasformando il settore delle riqualificazioni edilizie, proponendo soluzioni avanzate per interventi energetici efficienti, sostenibili e veloci. Questi progetti mirano a rispondere alle sfide poste dalla necessità di ridurre le emissioni di carbonio, aumentare l'efficienza energetica degli edifici e garantire un miglioramento significativo del comfort abitativo. Grazie all'impiego di elementi modulari prefabbricati, queste iniziative offrono un'alternativa pratica agli interventi tradizionali, riducendo i tempi di realizzazione in cantiere e minimizzando l'impatto ambientale. Questo panorama tecnologico sta aprendo nuove possibilità per affrontare le sfide della riqualificazione profonda, offrendo soluzioni replicabili e adattabili a diversi contesti climatici e costruttivi.

Una delle iniziative che utilizzano questa tipologia costruttiva è il progetto "E-SAFE" "G.A. No. 893135", (www.esafe-buildings.eu).

Il progetto e-SAFE si distingue per l'implementazione del sistema e-PANEL, un

pannello prefabbricato in legno progettato per essere applicato alle pareti esterne degli edifici esistenti. Questo pannello integra biomateriali isolanti di origine locale, finiture personalizzabili e nuove finestre ad alte prestazioni per sostituire quelle esistenti, offrendo così una soluzione integrata per migliorare l'efficienza energetica e il comfort abitativo.

L'installazione del sistema e-PANEL avviene tramite l'utilizzo di attrezzature di sollevamento mobili, una scelta che consente di ridurre significativamente i tempi di implementazione e minimizzare i disagi per gli occupanti degli edifici interessati. Inoltre, e-PANEL può essere combinato con altri elementi innovativi del sistema e-SAFE, come e-CLT (Cross-Laminated Timber) ed e-EXOS, per aumentare la resistenza sismica dell'edificio, garantendo al contempo una riqualificazione energetica completa e un rinnovamento estetico dell'involucro edilizio.



FIGURA 9: E-safe riqualificazione energetica e strutturale (Fonte: www.esafe-buildings.eu)



FIGURA 10: E-safe pannelli prefabbricati (Fonte: www.esafe-buildings.eu).

Grazie a questa tecnologia modulare e altamente adattabile, il progetto e-SAFE risponde in modo efficace alla necessità di interventi combinati di efficientamento energetico e miglioramento sismico, dimostrando come le soluzioni prefabbricate possano contribuire a ridefinire il panorama delle riqualificazioni edilizie in Europa.

Un altro progetto finanziato dalla commissione europea è “ProGETone”, “G.A. No. 723747”, (www.progetone.eu).

Il progetto rappresenta un’iniziativa innovativa nell’ambito della riqualificazione edilizia, mirata a rispondere a esigenze cruciali come la sicurezza sismica e il raggiungimento di consumi energetici quasi nulli (nearly zero energy buildings). Questo progetto integra tecnologie avanzate per sviluppare un approccio multi-beneficio, capace di migliorare non solo le prestazioni energetiche e strutturali degli edifici, ma anche il loro valore sociale e architettonico.

L’obiettivo principale di ProGETone è fornire un sistema innovativo e facilmente implementabile per il retrofit edilizio, con prestazioni ottimali in tre ambiti principali:

Efficienza energetica, attraverso l’aggiunta di nuovi involucri prefabbricati plug-and-play ad alte prestazioni e sistemi HVAC integrati;

Sicurezza sismica, con l’utilizzo di strutture esterne che rafforzano la stabilità degli edifici, supportando il nuovo involucro con componenti in legno;

Sostenibilità sociale ed economica, migliorando il valore immobiliare e riducendo i disagi per gli abitanti, grazie a soluzioni personalizzate e su misura che includono anche la possibilità di ampliare lo spazio abitativo.

Il progetto, finanziato con un budget complessivo di 5 milioni di euro, ha coinvolto 13 partner provenienti da 8 paesi diversi, tra università, aziende tecniche, PMI e autorità pubbliche. Svolto tra maggio 2017 e settembre 2022, il progetto ha previsto simulazioni e studi di fattibilità su quattro diversi casi studio in differenti contesti climatici e strutturali: Reggio Emilia (Italia), Braşov (Romania), Atene (Grecia) e Groningen



FIGURA 11: Riqualificazione energetica e antisismica di un caso studio ad Atene (Fonte: www.Progetone.eu)

(Paesi Bassi). In particolare, a Groningen è stato implementato un esoscheletro 2D su unità bifamiliari, mentre il caso studio di Atene, una residenza universitaria, ha visto una profonda riqualificazione completata tra maggio 2021 e settembre 2022.

Uno degli elementi chiave sviluppati da ProGETone è rappresentato dai sistemi TG-Box e TG-Beam, componenti architettonici innovativi progettati per semplificare e ottimizzare il retrofit energetico degli edifici esistenti. Questi elementi combinano in un'unica soluzione integrata tutte le connessioni necessarie, come tubazioni, condotti di ventilazione e cablaggi elettrici, riducendo la complessità e i costi di installazione. La TG-Box è una “scatola” isolata, progettata per essere installata sulle pareti esterne dell'edificio. Grazie alla sua integrazione nello strato isolante ad alta efficienza, la TG-Box consente di ottimizzare l'involucro dell'edificio, semplificando le connessioni tra le strutture esistenti e i nuovi componenti. La sua geometria definita facilita inoltre la sigillatura e l'isolamento, migliorando le prestazioni termiche complessive.

Il sistema TG-Beam, analogo alla TG-Box, offre un approccio scalabile e modulare per integrare impianti e strutture negli edifici ristrutturati. Entrambi i sistemi sono progettati per agevolare la sostituzione degli impianti HVAC esistenti con soluzioni che sfruttano energie rinnovabili, come fotovoltaico e pompe di calore, riducendo l'impatto ambientale e migliorando la sostenibilità del ciclo di vita.

Insieme, TG-Box e TG-Beam rappresentano una risposta plug-and-play per raggiungere gli obiettivi di efficienza energetica e comfort abitativo, contribuendo al miglioramento globale del patrimonio edilizio esistente in linea con gli standard europei per edifici a energia quasi zero.

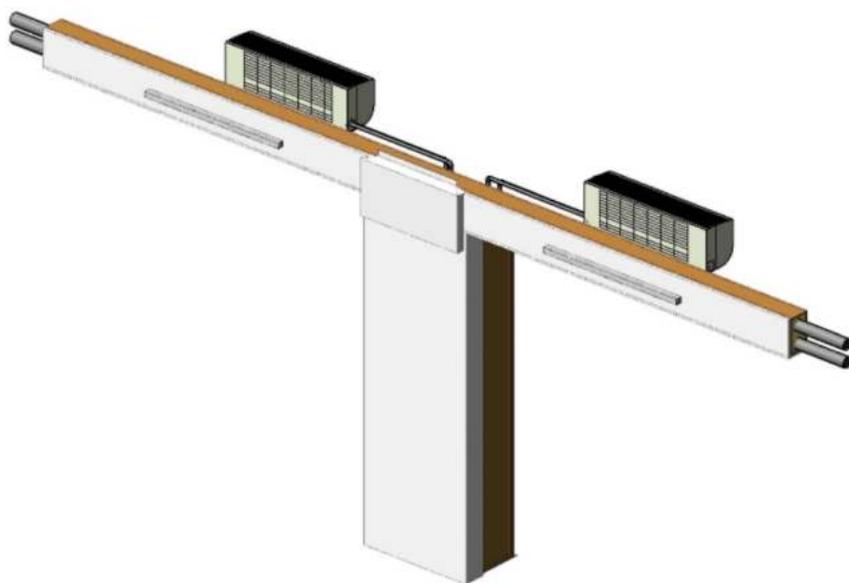


FIGURA 12: Tg-beam e tg-box (Fonte: www.Progetone.eu)

Il progetto “PLURAL” “G.A. No. 958218”, (www.plural-renovation.eu) propone una soluzione che unisce efficienza energetica, sostenibilità e comfort abitativo. L'obiettivo

principale è sviluppare kit prefabbricati “Plug-and-Use” per interventi di retrofit energetico profondo, garantendo rapidità nell’implementazione e riducendo al minimo i disagi per gli abitanti.

I sistemi proposti da PLURAL si distinguono per la loro grande adattabilità e modularità, offrendo soluzioni in grado di soddisfare esigenze diversificate e di adattarsi a diverse tipologie di edifici, climi e contesti socio-economici. La versatilità di questi kit Plug-and-Use è garantita dall’integrazione di tecnologie avanzate, come sistemi HVAC, pannelli fotovoltaici e materiali di isolamento termico ad alte prestazioni, che consentono di ottimizzare il consumo energetico e sfruttare fonti rinnovabili.

Un altro aspetto fondamentale è la sostenibilità: i componenti prefabbricati sono realizzati con materiali che includono almeno il 50% di contenuto riciclato, riducendo così l’impatto ambientale. Le strutture di supporto verticali, in acciaio inox, e i connettori assicurano un montaggio semplice e privo di interruzioni, permettendo al sistema di adattarsi facilmente alle geometrie e alle condizioni specifiche degli edifici. L’isolamento, composto da lana minerale, è protetto da uno strato anti-intemperie e rivestito in fibra di vetro per resistere ai danni meccanici, garantendo così alte prestazioni e una lunga durata.

Infine, la facciata non solo rappresenta un elemento di design grazie ai rivestimenti in alluminio verniciato, ma diventa anche una componente attiva nella produzione di energia attraverso l’integrazione di pannelli fotovoltaici che sostituiscono efficacemente i materiali tradizionali.

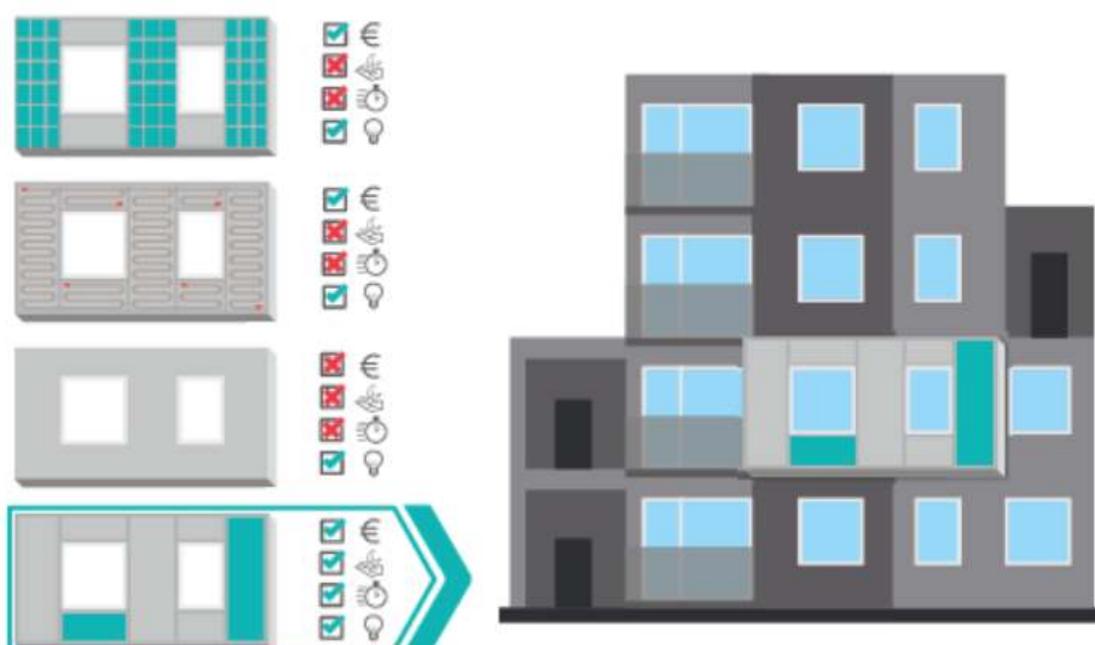


FIGURA 13: Integrazione in facciata di sistemi di efficientamento energetico (Fonte: www.Plural-renovation.eu)

Un elemento centrale del progetto è il sistema Denvelops Comfort, un componente prefabbricato che integra un'unità di trattamento aria con recupero di calore a doppio stadio. Questo sistema garantisce il controllo ottimale del clima interno, contribuendo a realizzare edifici a energia quasi zero.

La combinazione di prefabbricazione, tecnologie integrate e modularità rende le soluzioni di PLURAL scalabili e adatte a diverse esigenze, rappresentando un modello innovativo per il retrofit degli edifici.

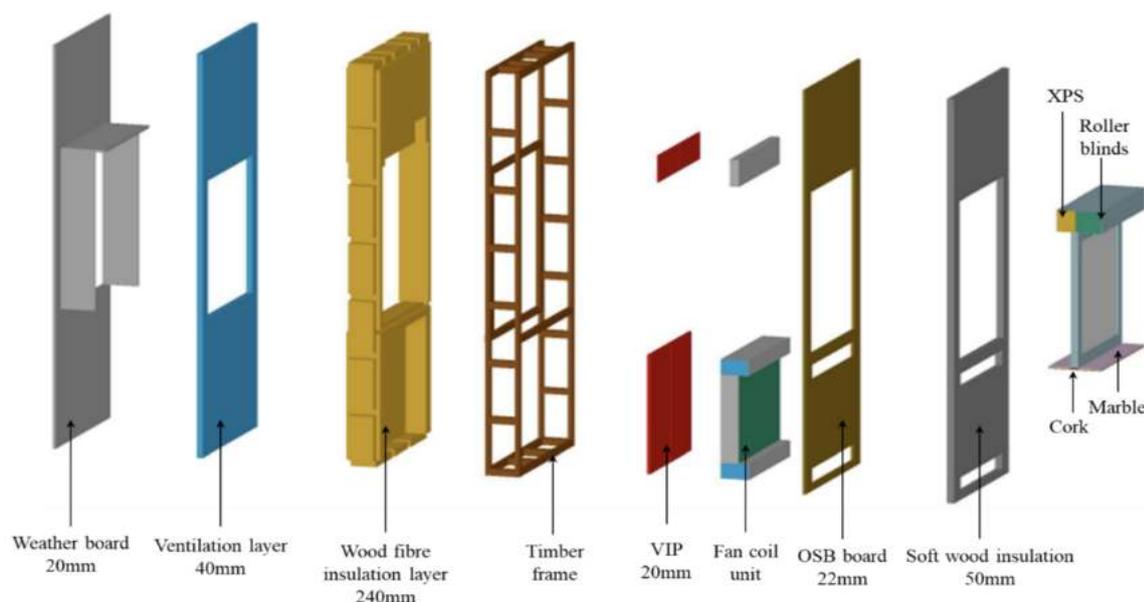


FIGURA 14: Integrazione di impianti nei moduli pannello (Fonte: www.Plural-renovation.eu)

La produzione dei pannelli è affidata all'azienda ceca RD Rymarov (RDR), che si distingue per l'impiego di tecnologie avanzate in grado di garantire precisione ed efficienza in ogni fase del processo. La lavorazione dei pannelli avviene attraverso macchinari automatizzati, come ponti e tavoli mobili, che assicurano un'elevata accuratezza, mentre carrelli elevatori e gru vengono utilizzati per il trasporto interno dei materiali negli impianti.

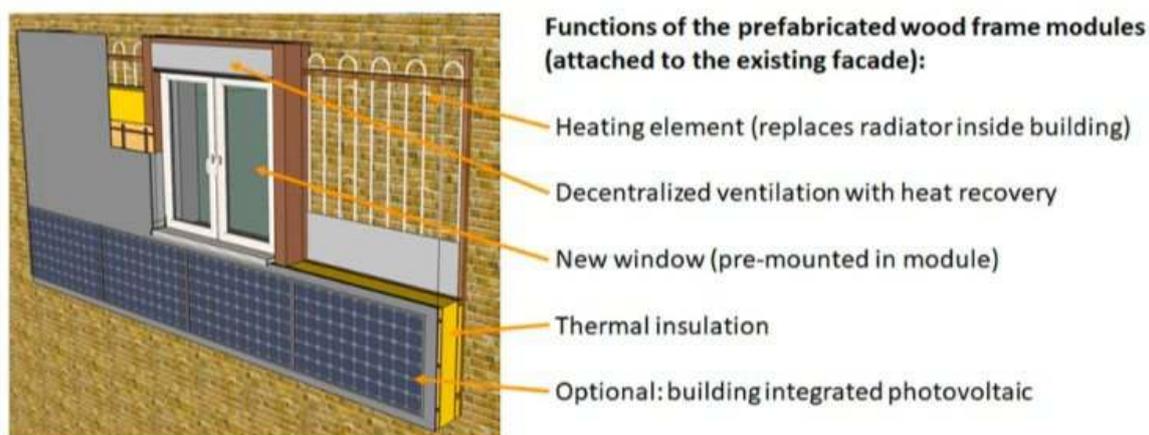


FIGURA 15: Montaggio di pannelli isolanti in legno (Fonte: www.Plural-renovation.eu)

Accanto all'automazione, un ruolo fondamentale è svolto dall'assemblaggio manuale specializzato, in cui i lavoratori si occupano di costruire i telai in legno, inserire l'isolamento e installare componenti specifici, come gli strati riscaldanti e le finiture. Questo equilibrio tra tecnologie automatizzate e intervento manuale consente di raggiungere standard qualitativi elevati, unendo efficienza e cura dei dettagli.

Una volta completati, i pannelli prefabbricati vengono trasportati direttamente in cantiere, dove il loro design modulare consente un'installazione rapida e precisa. Questo approccio off-site non solo riduce i tempi e i costi di montaggio, ma limita anche i disagi per gli abitanti degli edifici, garantendo al contempo una posa accurata e senza compromessi sulla qualità.

Inoltre il progetto si basa sulla modellazione delle informazioni edilizie, o BIM, sulla piattaforma di gestione dei Big Data e su uno strumento di supporto alle decisioni per ottenere una selezione e integrazione ottimali dei componenti e una produzione e installazione rapide e a basso costo.

Il progetto "Drive 0", "G.A. No. 841850", (www.drive0.eu), avviato nell'ottobre 2019, ha promosso un nuovo approccio alla "ristrutturazione circolare", puntando a edifici più sostenibili tramite l'uso esclusivo di energia rinnovabile e materiali completamente riciclabili. Questo modello di ristrutturazione profonda integra innovazioni tecniche, processi digitalizzati come il BIM, con l'obiettivo di decarbonizzare il patrimonio edilizio. Fondamentale è stata l'attenzione alla qualità del ciclo di vita degli edifici, garantendo dati trasparenti sulle prestazioni reali dopo gli interventi.

I sette casi studio dimostrativi hanno esplorato diverse soluzioni:

-Super circular neighborhood, Paesi Bassi

Il caso studio olandese si è concentrato sulla ristrutturazione circolare di un quartiere di abitazioni popolari a schiera. Grazie all'uso di tecnologie modulari plug-and-play, gli edifici sono stati trasformati in nZEB (edifici a energia quasi zero). L'intervento ha previsto l'installazione di moduli prefabbricati per l'involucro e un "motore" tecnologico per ottimizzare i servizi energetici, riducendo l'impatto ambientale e migliorando l'efficienza complessiva.

-Barcellona, Spagna

Qui l'attenzione si è focalizzata sulle "Medianeras", pareti divisorie opache tipiche degli edifici urbani. L'intervento ha previsto l'inserimento di fioriere fotovoltaiche innovative, un sistema che integra pannelli fotovoltaici con vegetazione per produrre energia rinnovabile e migliorare l'aspetto estetico delle facciate. Queste fioriere sono state progettate per incrementare l'efficienza energetica, contribuire alla biodiversità urbana e ridurre l'effetto "isola di calore". Applicabili anche su tetti, balconi e terrazze, rappresentano un esempio di soluzione versatile e sostenibile per edifici esistenti.



FIGURA 16: Fioriere fotovoltaiche in un caso studio a Barcellona (Fonte: www.Drive0.eu)

-Athlone, Irlanda

L'intervento ha interessato due case popolari degli anni '70 con scarse prestazioni termiche ed energetiche. Il retrofit ha integrato pannelli modulari per le pareti, migliorando l'involucro edilizio, e ha aggiornato il sistema di riscaldamento con energie rinnovabili. Le soluzioni adottate hanno aumentato l'efficienza energetica e il comfort abitativo, riducendo il consumo di combustibili fossili.

-Argelato, Bologna, Italia

Questo caso studio ha riguardato la ristrutturazione di una villa rurale tradizionale, rappresentativa del patrimonio architettonico dell'Italia meridionale. L'approccio circolare ha previsto il recupero e il riutilizzo dei materiali originali, combinati con elementi prefabbricati sostenibili. Il risultato è stato un edificio energeticamente efficiente, che ha rispettato l'estetica tradizionale e utilizzato tecnologie innovative per la riqualificazione.

-Saue, Estonia

Qui è stato riqualificato un edificio residenziale costruito prima del 1990, tipico del panorama edilizio estone. L'intervento ha risolto problemi di ventilazione, isolamento termico e comfort, utilizzando sistemi modulari per l'involucro e migliorando il consumo energetico. La soluzione adottata ha anche affrontato le temperature interne irregolari, garantendo un miglioramento complessivo della qualità abitativa.

-Ristrutturazioni energetiche circolari profonde di tre case monofamiliari Slovenia.

Il progetto ha coinvolto tre case unifamiliari, risalenti agli anni '70, caratterizzate da grandi volumi riscaldati e spazi inefficienti. La ristrutturazione ha incluso l'adozione di materiali circolari, sistemi energetici rinnovabili e interventi modulari, affrontando anche problemi di muffa e spreco di materiali. Questo modello rappresenta un esempio replicabile di riqualificazione profonda per migliorare comfort e sostenibilità.

-Regione dell'Attica, Grecia

L'intervento ha riguardato un appartamento residenziale in un edificio costruito prima del 1990, con alte esigenze energetiche e scarsa ventilazione. La ristrutturazione ha introdotto soluzioni circolari per migliorare l'involucro e il comfort termico interno, ottimizzando i consumi energetici e adattando il progetto alle condizioni climatiche e socioeconomiche locali.

3. PROGETTAZIONE E INTEGRAZIONE IMPIANTISTICA

3.1 Il sistema costruttivo proposto

Dopo un'attenta analisi dello stato dell'arte dei precedenti progetti europei, è stato possibile avviare lo studio del sistema costruttivo proposto seguendo le linee guida e i punti di forza emersi dai progetti "E-SAFE", "PLURAL", "ProGETone" e "Drive 0". Questi interventi condividono una filosofia comune basata sull'utilizzo di soluzioni prefabbricate e modulari, principi che sono stati individuati come requisiti fondamentali per garantire un processo costruttivo efficiente, rapido e adattabile.

In particolare, la prefabbricazione ha permesso di sviluppare un approccio orientato alla riduzione dei tempi di installazione in cantiere e all'ottimizzazione della precisione esecutiva, limitando i margini di errore e contenendo i costi complessivi. La modularità, invece, ha offerto la possibilità di diversificare le tipologie di intervento in base alle specifiche esigenze di ciascuna unità abitativa, senza mai perdere di vista gli obiettivi principali di efficientamento energetico.

Un altro elemento fondamentale del sistema è stata la definizione di interventi incrementali, pensati per adattarsi alle necessità attuali e per lasciare spazio a future implementazioni. Questo approccio consente di partire da un livello minimo di intervento, per poi integrare progressivamente ulteriori componenti o soluzioni tecnologiche, come impianti aggiuntivi o nuove implementazioni volumetriche.

L'intero progetto è stato dunque elaborato mantenendo un equilibrio tra l'innovazione tecnologica e fattibilità, privilegiando soluzioni che rispettino gli obiettivi di sostenibilità ambientale e siano in grado di rispondere alle sfide poste dalle diverse tipologie di edifici e contesti. Questa visione strategica ha guidato ogni fase della progettazione, assicurando che il sistema proposto non solo fosse efficace dal punto di vista prestazionale, ma anche versatile e replicabile in scenari differenti.

È stata successivamente elaborata una prima proposta applicativa su un edificio di riferimento (reference building), utilizzato come modello per testare una possibile implementazione iniziale dell'intervento. Questo studio ha seguito la logica sopra descritta, applicando i principi di prefabbricazione e modularità per definire una soluzione facilmente adattabile e replicabile. L'obiettivo principale era verificare l'efficacia dell'approccio incrementale, lasciando margine per ulteriori interventi futuri. Questa proposta ha rappresentato il punto di partenza per l'ottimizzazione delle strategie progettuali.

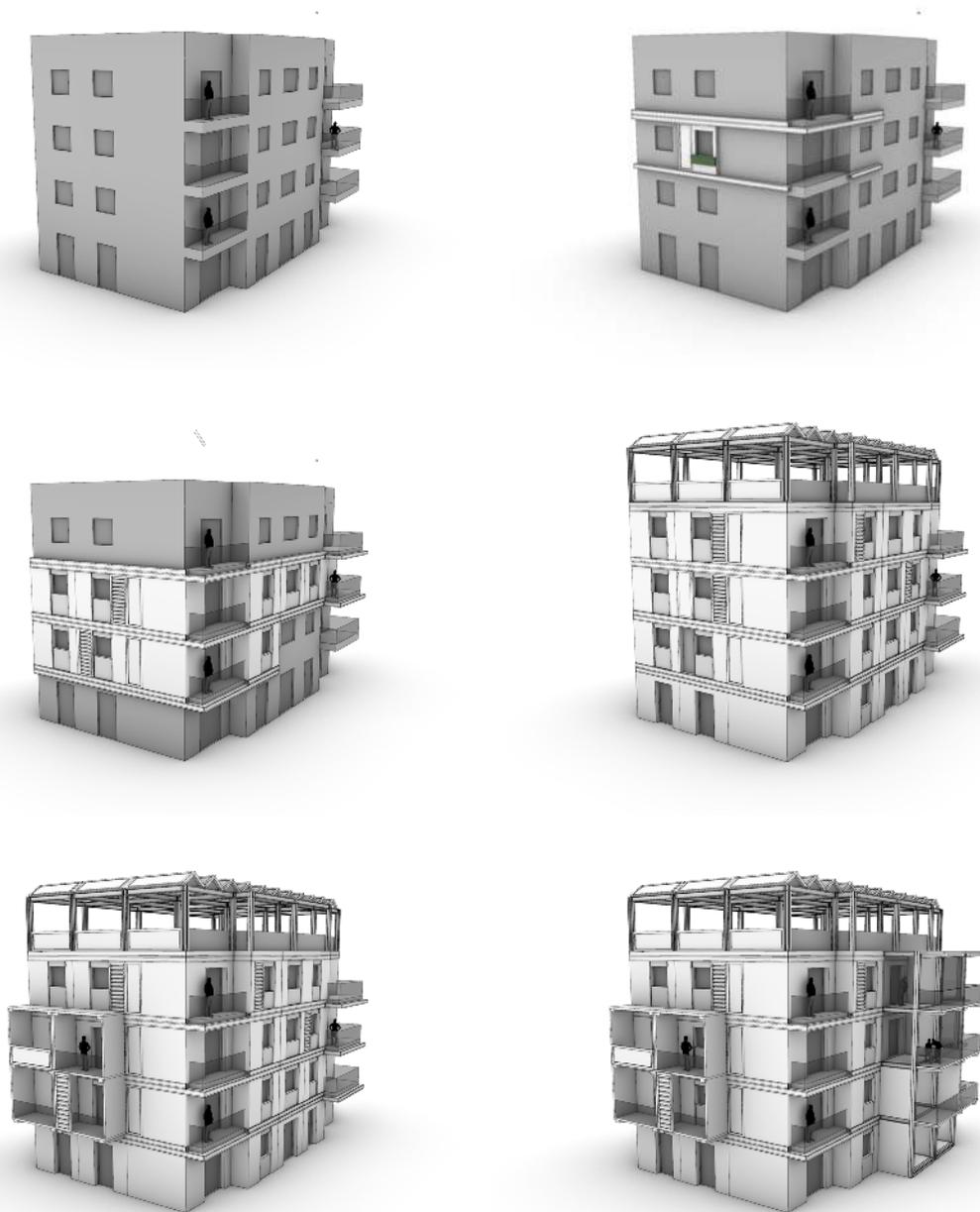


FIGURA 17, 18, 19, 20, 21, 22: Simulazione di intervento in un “reference building”

3.2 modularità e adattabilità

In fase di progettazione iniziale, è stato fondamentale tenere in considerazione lo stato dell’arte dei progetti europei per identificare e riadattare le soluzioni innovative già proposte. Questo approccio ha consentito di esplorare diverse configurazioni di intervento adottando come requisito fondamentale la modularità e la prefabbricazione, con l’obiettivo di garantire una progettazione versatile e scalabile. La modularità permette di rispondere efficacemente a esigenze specifiche, offrendo soluzioni che si integrano armoniosamente con l’esistente e che possono essere adattate o ampliate nel tempo per

soddisfare nuovi requisiti funzionali o tecnologici.

Per supportare il processo progettuale, è stato realizzato un abaco delle soluzioni, che elenca tutte le tipologie di intervento insieme alle loro componenti e possibili configurazioni. Questo strumento consente di analizzare in modo sistematico le varianti modulari, dandone un primo approccio progettuale, evidenziando le combinazioni tra gli elementi e le modalità con cui possono essere assemblati. L'abaco rappresenta una guida essenziale per comprendere l'integrazione e l'adattabilità delle soluzioni proposte rispetto ai diversi scenari progettuali.

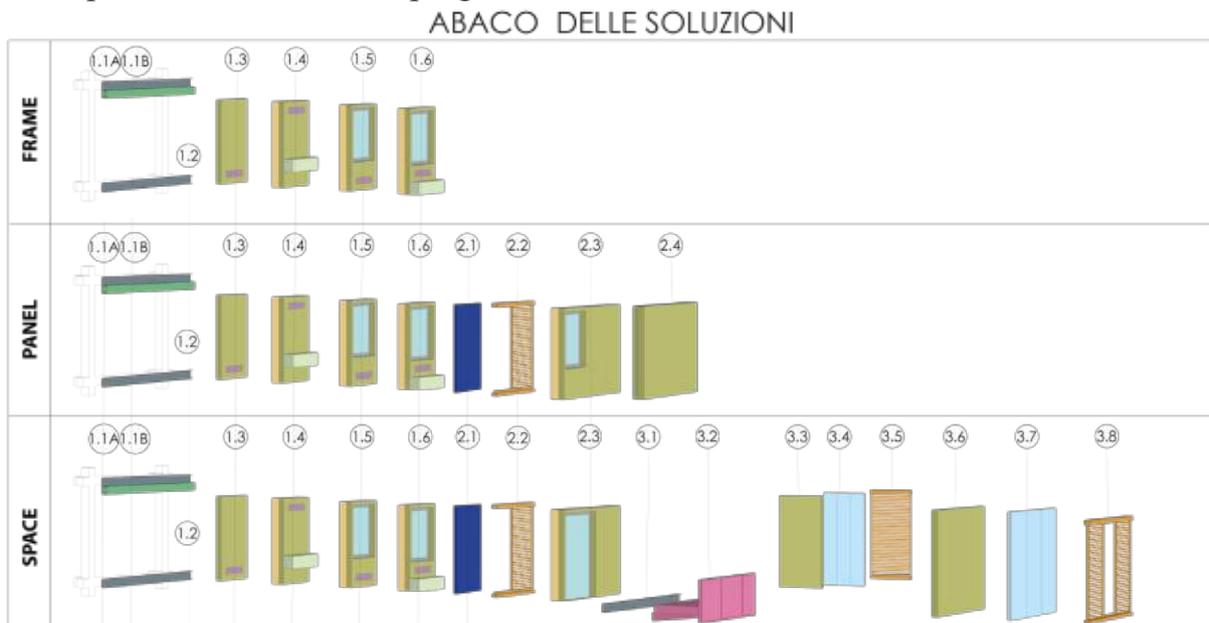
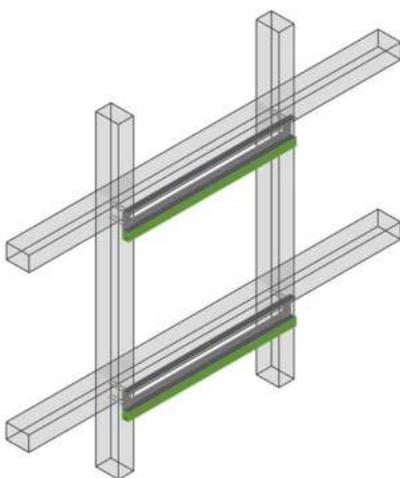


FIGURA 23: Abaco delle soluzioni.

La realizzazione dell'abaco ha permesso di suddividere il progetto nelle prime tre principali tipologie di intervento: Frame, Panel e Space. Questa classificazione ha facilitato l'organizzazione delle soluzioni modulari e prefabbricate, consentendo di definire con precisione le caratteristiche e le funzionalità di ogni intervento in relazione agli obiettivi progettuali.



Frame: Intervento bidimensionale che prevede l'aggiunta in facciata di profilati metallici ad "L", ancorati alla struttura tramite piastre metalliche e bulloni M16 fissati a 2/3 della trave di bordo. Questi profilati sono progettati per contenere al loro interno i cavi impiantistici necessari, offrendo una soluzione efficace per il passaggio delle infrastrutture tecnologiche dell'edificio.

FIGURA 24: Intervento Frame, elaborato di Tommaso Capone

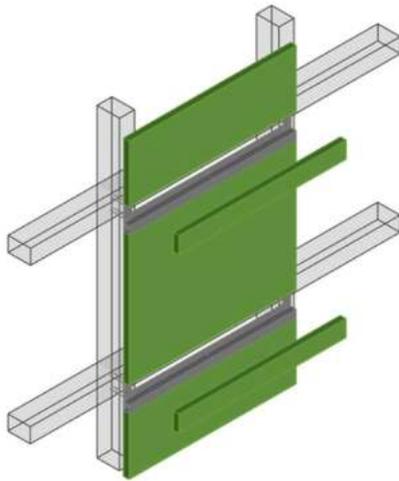


FIGURA 25: Intervento Panel, elaborato di Tommaso Capone

Panel: Intervento bidimensionale incrementale rispetto al Frame. E' possibile qui l'inserimento di pannelli, montati tra i due frame. In corrispondenza delle aperture finestrate, in questi pannelli è presente una strombatura per evitare di influenzare negativamente l'irraggiamento solare all'interno dell'unità abitativa, mitigando così l'effetto di una potenziale riduzione della luce dovuta all'aggiunta di elementi murari. Inoltre, i pannelli possono essere parzialmente forati per consentire l'incasso di sistemi HVAC o di una fioriera, utile per la raccolta e il riutilizzo dell'acqua di condensa prodotta dalle unità tecnologiche.

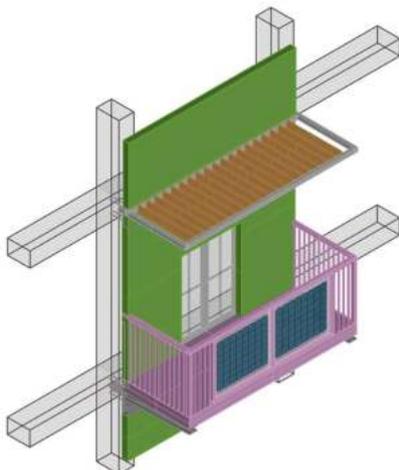


FIGURA 26: Intervento Space, elaborato di Tommaso Capone

Space: Questo intervento introduce un oggetto di 150 cm, ampliando la superficie abitabile dell'ambiente interno. L'intervento richiede una minima demolizione per realizzare l'apertura della porta finestra, consentendo così l'accesso al nuovo spazio esterno. Il solaio del balcone è sostenuto da una trave, progettata per essere collegata direttamente all'intervento Frame, garantendo la stabilità strutturale dell'elemento. La configurazione permette un'integrazione fluida tra i vari moduli, mantenendo il carattere modulare e prefabbricato dell'intervento.

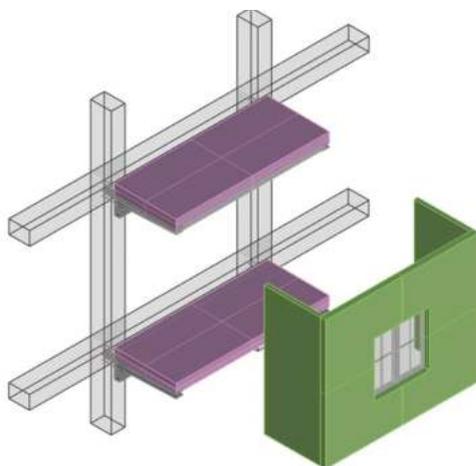


FIGURA 27: Intervento Box con chiusura opaca, elaborato di Tommaso Capone

Box: E' stato introdotto poi un quarto intervento, esso rappresenta un'estensione incrementale rispetto all'intervento Space, prevede la chiusura completa dell'oggetto per creare un ambiente chiuso e protetto. L'elemento di chiusura superiore, progettato come un sistema plug and play, si ancora tra i profilati metallici ad "L" e viene adeguatamente impermeabilizzato. La copertura è dotata di una lamiera progettata

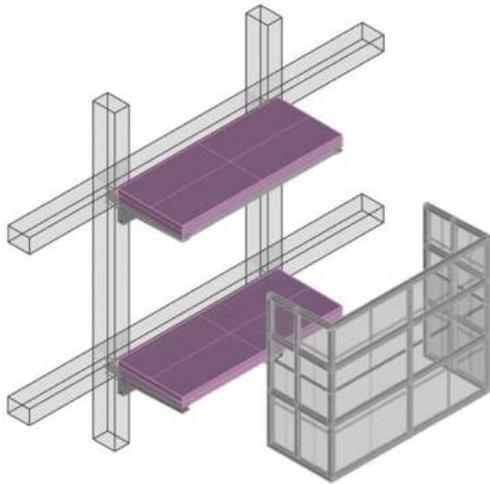


FIGURA 28: Intervento Box con chiusura trasparente, elaborato di Tommaso Capone

per garantire il corretto smaltimento delle acque meteoriche, preservando la durabilità e la funzionalità dell'intervento.

Il Box può essere realizzato con chiusure opache o trasparenti. La tipologia opaca consente di ampliare la superficie utile dell'ambiente interno, offrendo ulteriore spazio abitabile. La tipologia trasparente, invece, non solo aumenta la superficie utile, ma consente di creare una serra solare, contribuendo attivamente all'efficientamento energetico dell'edificio. È inoltre possibile integrare pannelli fotovoltaici sulla copertura del Box, massimizzando l'utilizzo delle superfici disponibili per la produzione di energia rinnovabile.

3.3 componenti edilizi e impiantistici integrati

Per la scelta delle componenti del sistema, è stato preso spunto da soluzioni innovative già analizzate nello stato dell'arte, che sono state in parte replicate o adattate alle specifiche esigenze del progetto.

Il pannello multistrato rappresenta l'elemento cardine del sistema. Questo pannello è stato progettato per migliorare significativamente il comfort termico dell'abitazione, ispirandosi a soluzioni già implementate in altri progetti europei di riqualificazione energetica. La stratigrafia del pannello è stata sviluppata con il supporto dell'azienda XLam Dolomiti, (www.xlamdolomiti.it) leader nel settore dei materiali da costruzione in legno.

La stratigrafia del pannello, ha uno spessore complessivo di 20cm ed è composto da:

-Strato di lana di roccia a bassa densità (1-2 cm).

Garantisce un primo isolamento termico e funge da elemento comprimibile per adattarsi a eventuali imperfezioni.

-Pannello XLam (6 cm) con montanti in legno verticali per creare intercapedine d'aria che migliora le prestazioni termiche e aiuta nella gestione della ventilazione della facciata..

L'elemento pieno e privo di forature, che oltre a migliorare le prestazioni termiche, contribuisce significativamente alla resistenza sismica della struttura.

-Pannello isolante in lana di roccia (8 cm).

Scelto al posto della fibra di legno per le sue migliori caratteristiche di resistenza al fuoco, in linea con i requisiti di sicurezza.

-Telo protettivo traspirante.

Permette la traspirazione dell'umidità, prevenendo fenomeni di condensa.

-Strato impermeabilizzante (8 mm).

Costituito da pannelli Aquapanel, che offrono ulteriori garanzie in termini di impermeabilizzazione e resistenza al fuoco.

-Rivestimento esterno.

Elemento customizzabile, adattabile alle esigenze territoriali o estetiche degli abitanti, garantendo flessibilità progettuale.

Questa configurazione è stata scelta per offrire un equilibrio ottimale tra isolamento termico, sicurezza antincendio, prestazioni sismiche e durabilità. Inoltre, rispetto allo studio iniziale, è stato deciso di utilizzare pannelli di dimensioni ridotte, con una larghezza di circa 1,5 metri, variabile e personalizzabile in base alle specifiche esigenze del progetto.

L'adozione di questa stratigrafia porta numerosi vantaggi. Innanzitutto, il comfort termico dell'abitazione è notevolmente migliorato grazie alla riduzione delle dispersioni energetiche, con un impatto positivo sui consumi e sul risparmio economico. La presenza del pannello XLam contribuisce non solo all'isolamento termico, ma anche alla resistenza sismica, offrendo maggiore sicurezza strutturale. I materiali scelti, come la lana di roccia e l'Aquapanel, garantiscono una resistenza al fuoco superiore, assicurando un livello di sicurezza elevato. Infine, la flessibilità progettuale rappresenta un ulteriore punto di forza: il rivestimento esterno, essendo completamente customizzabile, permette di adattare il sistema alle diverse esigenze estetiche e climatiche, rendendo questa soluzione estremamente versatile e adatta a vari contesti.

L'elemento ha un costo stimato di fornitura e posa pari a 1.450 €/m² di superficie di facciata. Considerando un ipotetico intervento su una facciata di dimensioni 4 metri per 3 metri (per un totale di 12 m²), il costo complessivo di montaggio dei soli pannelli risulta essere di 17.400 €. Questo importo include sia la fornitura dei pannelli che la loro posa, offrendo un sistema realizzabile in breve tempo e ad alte prestazioni.

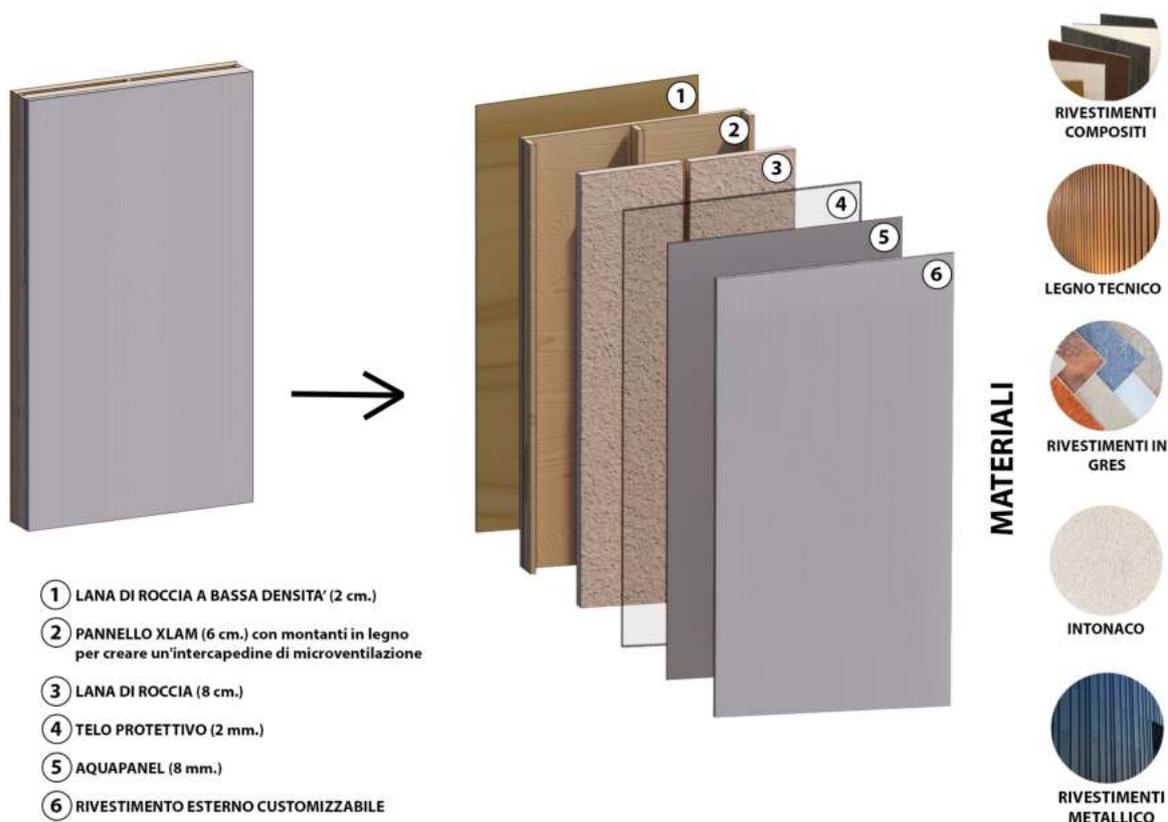


FIGURA 29: Souzione 1 di stratigrafia del pannello prefabbricato

Oltre a questa è stata sviluppata una seconda opzione per la stratigrafia del pannello, mantenendo uno spessore complessivo entro i 20 cm. La differenza principale risiede nell'inserimento di un telaio in legno, progettato esclusivamente per contenere l'isolante.

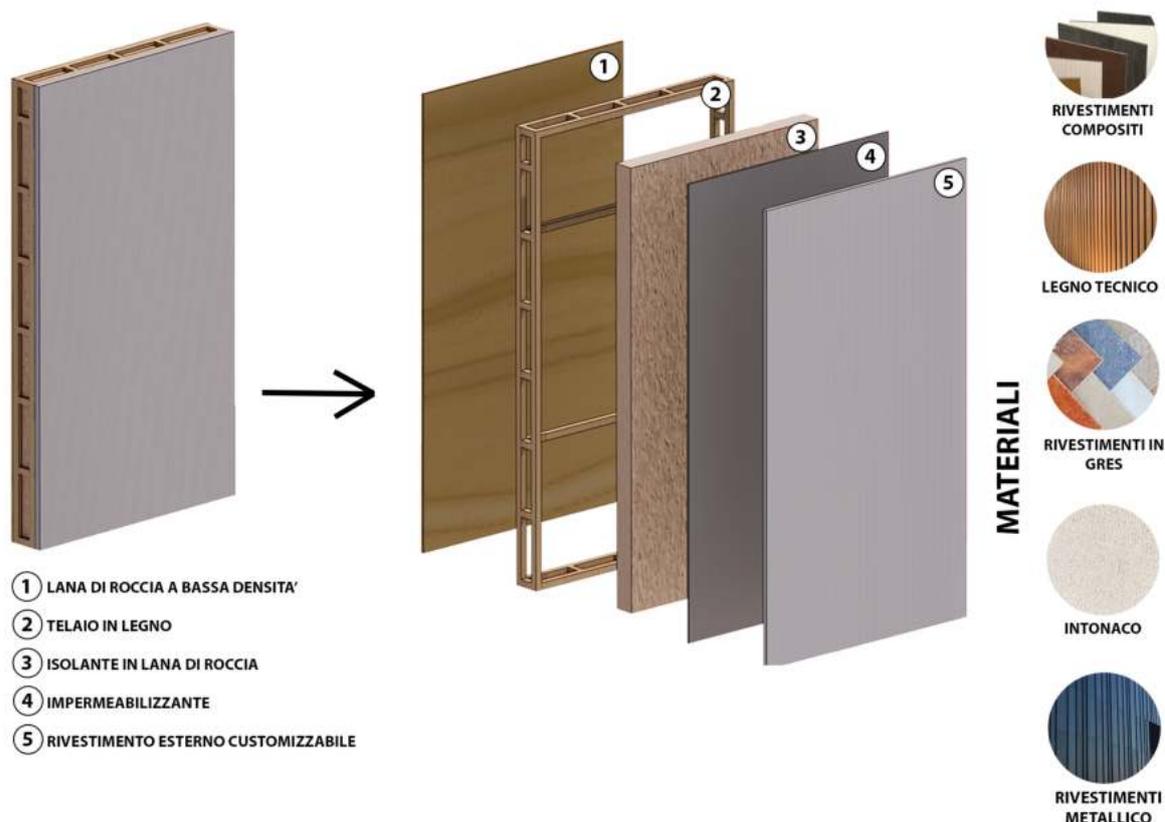


FIGURA 30: Souzione 2 di stratigrafia del pannello prefabbricato

Questa soluzione offre maggiore stabilità e semplicità di montaggio, preservando al contempo le caratteristiche termiche complessive del sistema.

La trave porta impianti, elemento centrale del progetto, è stata concepita come un supporto multifunzionale ispirato al progetto europeo “ProGETone”. In questa proposta progettuale, la trave è composta da due profili ad L collegati tra loro da due piatti verticali. Questo piatto funge da elemento di connessione con l’edificio, garantendo un’ancoraggio stabile e sicuro.

A differenza del progetto sopra citato, dove la trave aveva una funzione portante primaria, qui il suo ruolo si evolve in una configurazione esclusivamente impiantistica e di sostegno. Infatti, essa non contribuisce al carico strutturale generale, ma diventa l’elemento attraverso il quale vengono fatti passare tutti gli impianti necessari per il funzionamento della pompa di calore, come tubazioni e cavi elettrici. Allo stesso tempo, la trave fornisce un appoggio ottimale per il montaggio dei pannelli fotovoltaici e delle macchine HVAC, integrandosi perfettamente con gli altri interventi in facciata. Questa soluzione dimostra la capacità di adattare tecnologie esistenti a nuovi contesti, rendendo gli interventi flessibili e altamente funzionali, senza compromettere l’estetica o l’efficienza energetica dell’edificio.

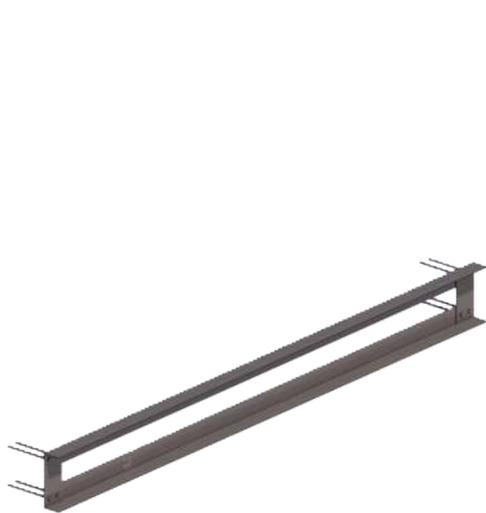


FIGURA 31: Trave impiantistica



FIGURA 32: Profilato ad L
18x15 cm sp. 0,3 cm



FIGURA 33: Piatto di giunzione
profilati ad L 40x20 cm sp. 1 cm



FIGURA 34: Bullonature di
ancoraggio M16 con viti



FIGURA 35: "Pipe" verticali per acqua di
condensa



FIGURA 36: Trave HEA 200 rastrema-
ta e flangiata completa di fissaggi

Alle estremità laterali della trave porta impianti sono stati integrati due "pipe" metallici verticali, progettati per garantire il deflusso controllato dell'acqua di condensa in eccesso prodotta dalla pompa di calore. Questi tubi convogliano l'acqua verso un punto di raccolta a terra, evitando ristagni e possibili problematiche legate all'accumulo di umidità. La loro posizione e integrazione nella trave assicurano una gestione discreta ed efficiente del deflusso.

Ci sarà poi una trave HEA 200 rastremata e flangiata, è l'unico elemento strutturale del sistema, progettata per sostenere le aggiunte volumetriche in facciata, come balconi o logge. Flangiata all'estremità, consente il fissaggio tramite bullonature M16 che penetrano per i 2/3 della profondità della trave di bordo, garantendo un collegamento sicuro e stabile. Le ginocchia saldate sulle ali ne aumentano la rigidità, rendendola idonea a sopportare i carichi aggiuntivi. Questo componente unisce resistenza strutturale e flessibilità progettuale, adattandosi a diverse configurazioni architettoniche.

La trave rastremata HEA 200 è composta nel seguente modo:



FIGURA 37: Trave HEA 200 rastremata

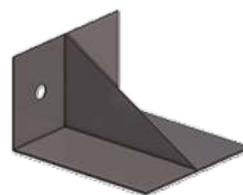


FIGURA 38: Ginocchia di irrigidimento saldate sull'ali



FIGURA 39: Piatto di ancoraggio



FIGURA 40: Bullonature di ancoraggio M16 con viti



FIGURA 41: Balcone con parapetto in vetro

circostante. Il solaio del balcone è interamente montato a secco, con uno strato di riempimento in argilla espansa e listelli in OSB utilizzati a supporto della pavimentazione, assicurando leggerezza e velocità di assemblaggio.



FIGURA 42: Elemento di chiusura in vetro con copertura montata a secco

L'elemento aggiuntivo del balcone è progettato per poggiarsi sulla trave rastremata precedentemente descritta, garantendo un'integrazione strutturale sicura e funzionale. Con una sporgenza di 1,5 metri, questo elemento consente di ampliare la superficie utile dell'appartamento, offrendo uno spazio esterno aggiuntivo che migliora la qualità abitativa e l'interazione con l'ambiente

circostante. In aggiunta è poi presente un elemento di chiusura montato sopra al balcone ed è progettato per delimitare lo spazio esterno e consentire la possibile realizzazione di una serra. Questo componente crea un ambiente protetto, ideale per migliorare l'efficienza energetica dell'appartamento e favorire un utilizzo flessibile dello spazio durante tutto

l'anno. La struttura è leggera e modulare, studiata per integrarsi con il sistema del balcone e garantire sia un'adeguata illuminazione naturale sia una protezione dagli agenti atmosferici.

Durante la progettazione, è stato scelto di integrare una serie di elementi aggiuntivi in facciata, concepiti per potenziare il comfort termico interno e migliorare le prestazioni energetiche complessive dell'edificio. Questi componenti, che possono essere definiti elementi funzionali o dispositivi complementari, sono stati studiati per garantire un'installazione efficiente e modulare, contribuendo all'ottimizzazione del sistema edilizio senza compromettere l'estetica dell'involucro architettonico.



FIGURA 43: Pompa di calore STØNE

È stata prevista l'installazione di una pompa di calore progettata per essere incassata nel pannello, in modo da minimizzare l'impatto visivo e garantire una maggiore integrazione con la facciata. Questo dispositivo è stato studiato per avere una sporgenza ridotta, così da armonizzarsi con gli altri elementi architettonici, migliorando l'efficienza energetica senza alterare l'estetica complessiva dell'edificio.



FIGURA 44: Frangisole oscurante in legno

Il frangisole oscurante è stato progettato per essere completamente integrato nei 20 cm del pannello, assicurando un ingombro minimo e una perfetta armonia con la facciata. È dotato di una guida che consente il movimento scorrevole e la completa scomparsa dell'elemento quando non utilizzato. Questa soluzione garantisce un efficace controllo dell'illuminazione naturale e del comfort termico interno, senza compromettere l'estetica o la funzionalità dell'involucro edilizio.

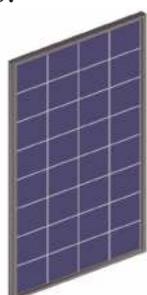


FIGURA 45: Pannello fotovoltaico

L'ultimo elemento aggiunto è rappresentato dai pannelli fotovoltaici, anch'essi incassati a filo del pannello per garantire un'integrazione ottimale con la facciata. Oltre a contribuire alla produzione di energia rinnovabile, questi pannelli svolgono

anche una funzione pratica, fungendo da elemento utile per la scomparsa del frangisole oscurante, garantendo così una soluzione esteticamente armoniosa e tecnologicamente efficiente.



Un'altra delle componenti funzionali aggiunte in facciata è la fioriera, progettata non solo come elemento estetico, ma anche come sistema di raccolta per l'acqua di condensa prodotta dalla pompa di calore. Questo approccio integra sostenibilità e funzionalità, riducendo gli sprechi e valorizzando l'aspetto della facciata.

FIGURA 46: Fioriera per riutilizzo acqua di condensa

3.4 Soluzioni tecniche per l'integrazione impiantistica

L'integrazione degli elementi HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) nel progetto rappresenta una sfida cruciale per garantire il comfort interno, l'efficienza energetica e l'armonia estetica con l'edificio. In particolare, la scelta delle pompe di calore e dei sistemi di ventilazione gioca un ruolo determinante nel migliorare la qualità dell'ambiente costruito e la sostenibilità dell'intervento.

Tra gli elementi adottati, la scelta è stata orientata verso la pompa di calore STØNE M1 ad incasso, sviluppata da Innova (www.innovaenergie.com), si distingue per il suo approccio progettuale innovativo e per la capacità di combinare alta tecnologia, design avanzato e facilità di integrazione con l'edificio.

Le pompe di calore tradizionali presentano spesso unità esterne ingombranti e antiestetiche, difficili da collocare in contesti architettonici di pregio o in edifici condominiali. La STØNE M1, invece, nasce da un approccio completamente nuovo, orientato a superare questi limiti grazie a un design compatto e personalizzabile, in grado di coniugare elevate prestazioni tecniche con una perfetta integrazione estetica. La pompa di calore non solo minimizza il suo impatto visivo, ma riesce persino a migliorare l'aspetto complessivo dell'edificio, adattandosi armoniosamente al contesto architettonico.



FIGURA 47: Pompa di calore STØNE (Fonte: www.innovaenergie.com)

L'aria viene aspirata frontalmente grazie a un ventilatore plug fan integrato, che dirige il flusso verso le batterie di scambio, riducendo significativamente il rumore generato. Questo effetto è ulteriormente migliorato dalla struttura interna della macchina, che contribuisce ad assorbire e attenuare il suono, rendendola estremamente silenziosa. Inoltre, la possibilità di dirigere la mandata dell'aria, sia in verticale che in orizzontale, consente di orientare il flusso verso aree meno sensibili, evitando il ricircolo dell'aria

e migliorando il comfort acustico e ambientale.

Questa soluzione rappresenta un esempio di come sia possibile combinare tecnologia avanzata e attenzione al design per creare un elemento che non solo soddisfa le esigenze impiantistiche, ma aggiunge valore al progetto architettonico complessivo.

Andando a descrivere la sua composizione abbiamo:

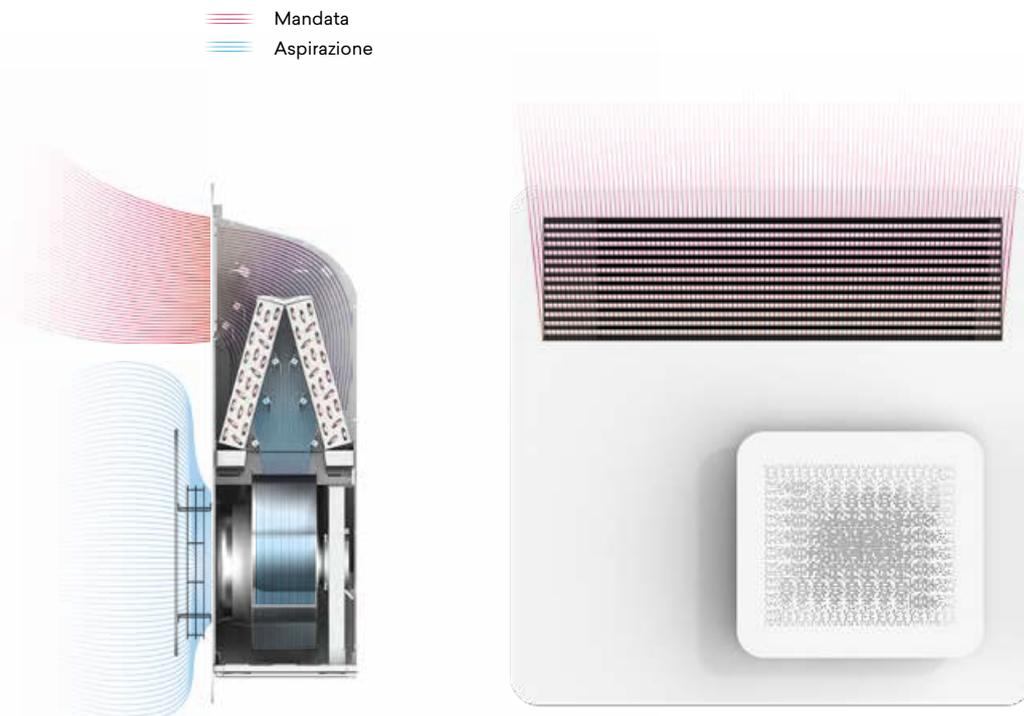


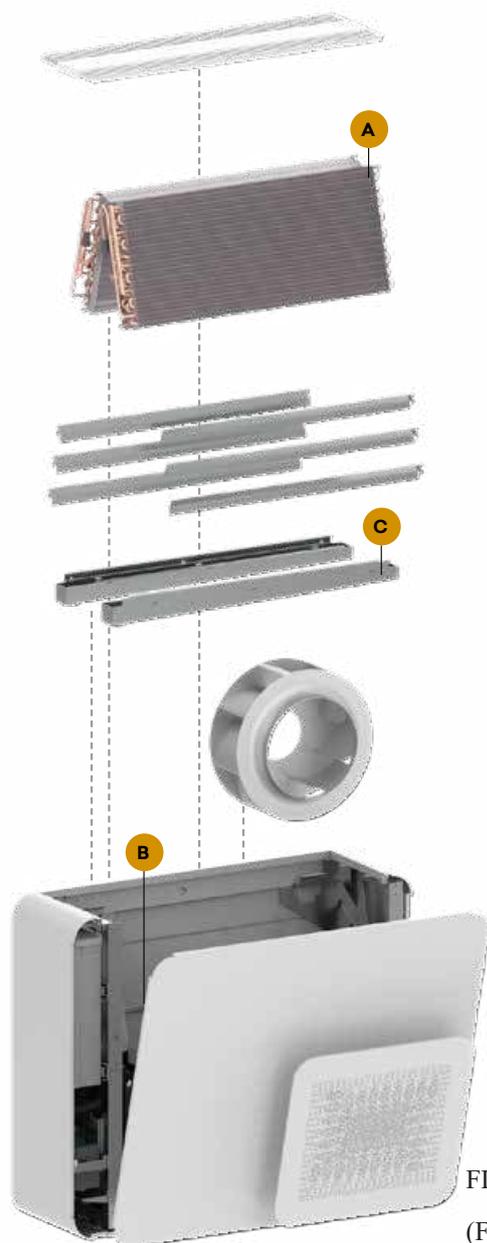
FIGURA 48: Mandata e aspirazione pompa di calore STØNE

A. Batterie di scambio a V rovesciata

Le batterie di scambio sono progettate per offrire una maggiore superficie di scambio termico grazie alla particolare configurazione a V rovesciata. Questo design garantisce una distribuzione uniforme dell'aria su tutta la superficie, riducendo le perdite di carico. Inoltre, la minore portata d'aria necessaria per ottenere la stessa efficienza si traduce in un funzionamento più silenzioso, migliorando il comfort acustico.

B. Batterie di scambio interne al mobile

Posizionate all'interno della struttura della pompa di calore, le batterie possono essere installate aderenti al muro senza comprometterne l'efficienza. Questa configurazione le protegge dallo sporco, mantenendo prestazioni elevate nel tempo. Un ulteriore vantaggio è dato dal sistema di sbrinamento rapido: il calore prodotto è utilizzato in modo mirato per eliminare la brina dalle alette, senza dispersioni verso l'esterno. Le alette idrofiliche, insieme al circuito di sotto-raffreddamento, contribuiscono a ridurre al mi-



nimo la formazione di ghiaccio e a migliorare la durata e l'efficienza del sistema.

C. Due bacinelle di raccolta condensa

La gestione della condensa è ottimizzata da due bacinelle progettate con una forte inclinazione, che garantisce uno scarico rapido ed efficace. Per evitare il rischio di ghiacciamento anche nelle condizioni climatiche più estreme, le bacinelle sono dotate di un cavo scaldante integrato. Inoltre, la loro posizione, a 40 cm da terra all'interno del vano compressore (una zona riscaldata), facilita ulteriormente il deflusso della condensa e contribuisce a mantenere un funzionamento affidabile e sicuro.

FIGURA 49: Esploso delle componenti pompa di calore STØNE
(Fonte: www.innovaenergie.com)

La pompa di calore STØNE M1 si distingue per la capacità di eliminare ogni ingombro superfluo, offrendo soluzioni modulari innovative e garantendo il minimo impatto estetico in facciata. Grazie al suo design rivoluzionario, può essere installata in contesti più difficili, integrandosi armoniosamente nell'architettura dell'edificio.

La sua versatilità consente il posizionamento a ridosso del muro dell'abitazione, rendendola una soluzione funzionale ed elegante. Nella versione ad incasso (da noi utilizzata), STØNE scompare parzialmente all'interno del nostro pannello, diventando meno impattante e rispettando appieno le esigenze di contesti architettonici di pregio. Questa caratteristica la rende ideale per progetti che richiedono elevate prestazioni tecniche senza compromettere l'estetica complessiva dell'edificio.

Lo schema rappresentato ci mostra il sistema impiantistico, mettendo in evidenza le

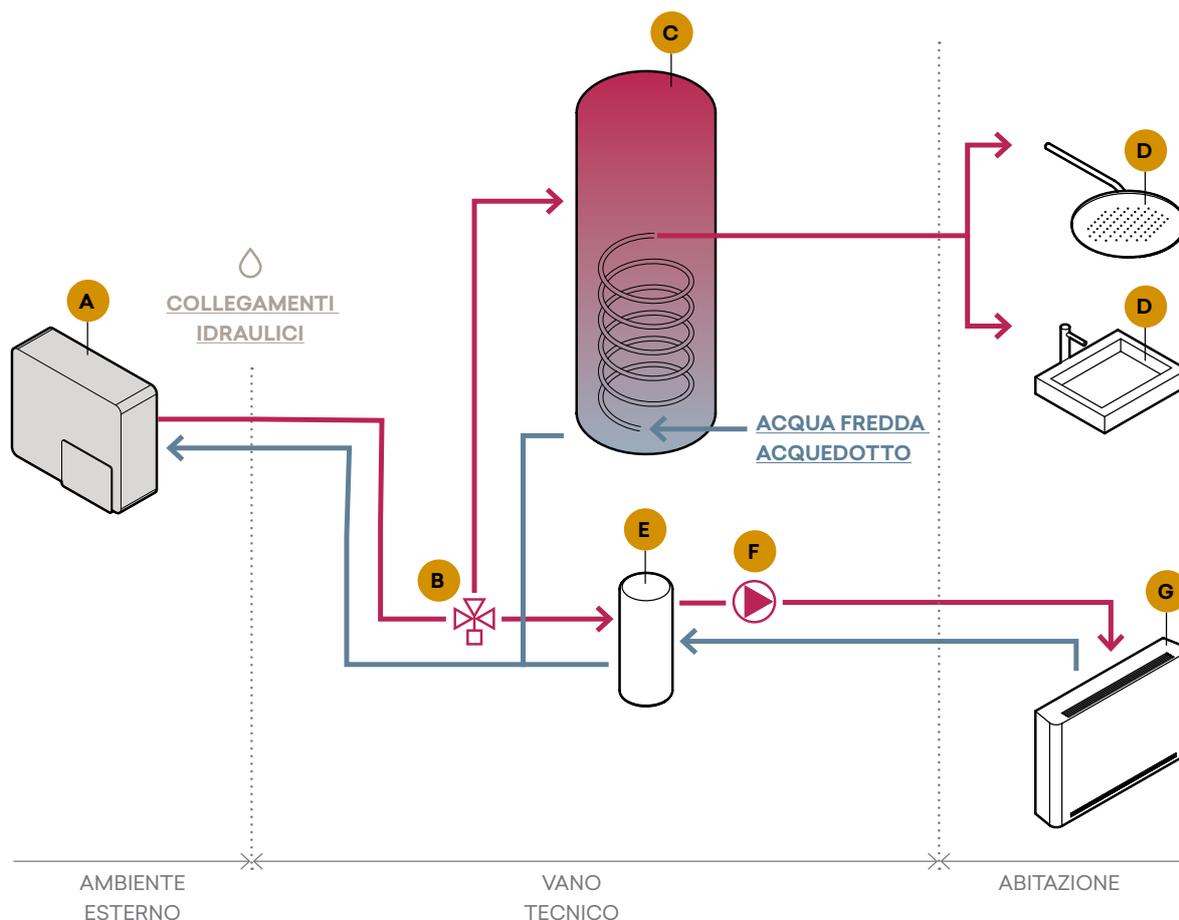


FIGURA 50: Schema d'impianto pompa di calore STØNE (Fonte: www.innovaenergie.com)

componenti principali e il loro funzionamento all'interno dell'abitazione. Un elemento fondamentale dell'integrazione impiantistica è la trave impiantistica, che funge da vano tecnico dedicato al passaggio di tutti i cavi e le tubazioni necessari. Questa soluzione consente di mantenere l'impianto ordinato e completamente nascosto, preservando l'estetica del progetto.

A. Unità esterna STØNE M1: la pompa di calore, installata a ridosso o incassata nel muro, rappresenta l'elemento centrale del sistema, progettata per ridurre l'ingombro e integrarsi perfettamente con l'edificio.

B. Valvola a 3 vie: consente la gestione efficiente del flusso dell'acqua tra l'accumulo termico e l'impianto di climatizzazione.

C. Accumulo termico: posizionato in un punto strategico, garantisce la produzione immediata di acqua calda sanitaria.

D. Utenza acqua calda sanitaria: distribuisce l'acqua calda ai terminali domestici, come rubinetti e docce.

E. Separatore idraulico: collocato nella trave impiantistica, ottimizza il funzionamento dei circuiti primario e secondario.

F. Pompa del circuito secondario: assicura la circolazione dell'acqua all'interno dell'impianto di climatizzazione, integrandosi nel sistema nascosto nella trave impiantistica.

G. Impianto di riscaldamento e raffreddamento: distribuisce il calore o il fresco negli ambienti, completando il sistema integrato.

La trave impiantistica si configura quindi come un elemento essenziale per il corretto funzionamento dell'intero sistema, garantendo un'integrazione efficiente e discreta degli impianti tecnici all'interno dell'edificio.

DATI TECNICI	STØNE M1 - H1 - B1 - T1 - C1									
	u.m.	5M	7M	9M	11M	11T	13M	13T	15M	15T
Prestazioni in riscaldamento (A 7°C BS; W 35°C)										
Potenza termica massima (1)	kW	7,54	10,75	11,45	13,53	13,53	15,20	15,20	19,05	19,05
Potenza termica nominale (1)	kW	5,51	7,46	9,12	10,63	10,63	12,48	12,48	15,15	15,15
Potenza totale assorbita (1)	kW	1,16	1,62	1,83	2,37	2,37	2,62	2,62	3,23	3,23
COP (1)		4,74	4,43	4,67	4,48	4,48	4,76	4,76	4,70	4,70
SCOP (2)		4,55	4,22	4,52	4,25	4,25	4,68	4,68	4,53	4,53
Classe di efficienza energetica (2)		A+++	A++	A+++	A++	A++	A+++	A+++	A+++	A+++
Prestazioni in riscaldamento (A -7°C BS; W 35°C)										
Potenza termica massima (3)	kW	4,85	6,45	7,05	7,88	7,88	9,05	9,05	11,42	11,42
Potenza totale assorbita (3)	kW	1,62	2,26	2,38	2,91	2,91	2,87	2,87	3,91	3,91
COP (3)		2,98	2,85	2,95	2,70	2,70	3,15	3,15	2,92	2,92
Prestazioni in raffreddamento (A 35°C; W 18°C)										
Potenza frigorifera massima (4)	kW	9,20	11,55	13,05	14,35	14,35	16,90	16,90	20,50	20,50
Potenza frigorifera nominale (4)	kW	6,90	9,50	10,50	12,15	12,15	13,05	13,05	17,45	17,45
Potenza totale assorbita (4)	kW	1,59	2,25	2,44	2,87	2,87	2,96	2,96	4,04	4,04
EER (4)		4,33	4,23	4,31	4,23	4,23	4,41	4,41	4,32	4,32
Prestazioni in raffreddamento (A 35°C; W 7°C)										
Potenza frigorifera massima (5)	kW	6,70	8,85	9,50	11,15	11,15	12,45	12,45	15,90	15,90
Potenza frigorifera nominale (5)	kW	4,19	6,44	7,78	8,75	8,75	9,98	9,98	12,04	12,04
Potenza totale assorbita (5)	kW	1,22	2,00	2,33	2,65	2,65	2,99	2,99	3,71	3,71
EER (5)		3,43	3,22	3,34	3,31	3,31	3,34	3,34	3,24	3,24
Dati idraulici										
Portata nominale in riscaldamento	l/min	15,9	21,5	26,3	30,6	30,6	35,9	35,9	43,6	43,6
Portata nominale in raffreddamento	l/min	11,7	18,6	22,4	25,3	25,3	28,9	28,9	34,9	34,9
Prevalenza utile circuito primario M1-H1-B1	kPa	71	60	54	70	70	60	60	58	58
Prevalenza utile circuito primario T1-C1	kPa	71	60	54	45	45	40	40	43	43
Diametro attacchi idraulici	" GAS	1"								
Capacità vaso di espansione M1	L	2	2	4	4	4	6	6	6	6
Capacità vaso di espansione B1	L	6								
Capacità vaso di espansione H1-T1-C1	L	24								
Minimo contenuto d'acqua d'impianto	L	20	25	30	35	35	40	40	50	50
Capacità serbatoio sanitario H1-T1	L	200								
Capacità serbatoio sanitario C1	L	170								

FIGURA 51: Scheda tecnica pompa di calore STØNE (Fonte: www.innovaenergie.com)

DATI TECNICI		STØNE M1 - H1 - B1 - T1 - C1								
		u.m.	5M	7M	9M	11M	11T	13M	13T	15M
Attacchi frigoriferi (Versioni B1 - T1 - C1)										
Aspirazione	" SAE									5/8
Liquido	" SAE									3/8
Circuito frigorifero										
Compressore		Twin Rotary DC Inverter								
Tipo refrigerante	kg	R32								
Carica refrigerante M1-H1	kg	1,8	1,8	2,8	2,8	2,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Carica refrigerante B1-T1-C1	kg	1,8	1,8	2,7	2,7	2,7	3,8	3,8	3,8	3,8
Dati sonori										
Pressione Sonora unità interna (6)	dB(A)	30	30	30	31	31	31	31	31	31
Pressione Sonora unità esterna Cooling/Heating (6)	dB(A)	48	49	50	52	52	50	50	54	54
Pressione Sonora unità esterna Cooling/Heating 50% del carico (7)	dB(A)	45	47	48	49	49	47	47	51	51
Potenza sonora unità esterna Cooling/Heating (8)	dB(A)	57	58	59	61	61	59	59	63	63
Potenza sonora unità esterna Cooling/Heating 50% del carico(9)	dB(A)	54	56	57	58	58	56	56	60	60
Dati elettrici										
Tensione	V/50Hz	230/1/50	230/1/50	230/1/50	230/1/50	400/3/50	230/1/50	400/3/50	230/1/50	400/3/50
Massima potenza assorbita	kW	2,9	3,8	4,5	5,3	5,3	5,9	5,9	7,3	7,3
Massima corrente assorbita	A	14,00	18,00	21,30	25,00	8,50	28,00	9,30	34,50	11,50
Grado di protezione unità interna		IPX2								
Grado di protezione unità esterna		IPX4								

FIGURA 52: Scheda tecnica pompa di calore STØNE (Fonte: www.innovaenergie.com)

La presente scheda tecnica fornisce un quadro dettagliato delle sue prestazioni e caratteristiche tecniche. Tra le informazioni principali emergono i valori di potenza termica e frigorifera, l'efficienza stagionale (SCOP e EER), i dati sul consumo energetico e le emissioni sonore. Inoltre, sono indicati il tipo di refrigerante utilizzato (R32), la carica necessaria, i dettagli elettrici e idraulici, nonché i livelli di rumorosità sia per l'unità interna che esterna. Questi dati dimostrano l'attenzione del progetto verso l'efficienza energetica e il comfort acustico.

I seguenti grafici ci permettono di fare una distinzione tra la modalità di riscaldamento e quella di raffreddamento, in funzione delle temperature esterne e della temperatura dell'acqua nell'impianto.

In questo primo grafico relativo al riscaldamento viene evidenziata la capacità della pompa di calore di operare efficacemente anche a temperature esterne molto basse, fino a -25 °C. In questa modalità, il sistema gestisce sia il riscaldamento degli ambienti che la produzione di acqua calda sanitaria. L'area evidenziata mostra le condizioni in cui è necessario il supporto di una resistenza, di una caldaia o di un'integrazione solare, utili per garantire continuità nelle prestazioni durante climi particolarmente rigidi.

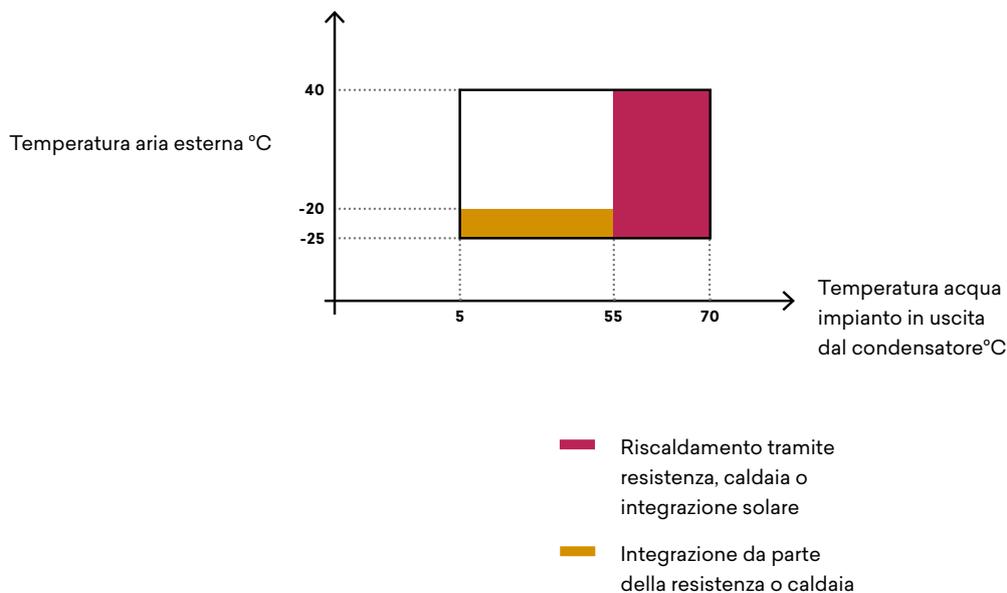


FIGURA 53: Modalità di riscaldamento pompa di calore STØNE (Fonte: www.innovaenergie.com)

Il secondo grafico è invece concentrato sul raffreddamento, indicando il funzionamento del sistema quando le temperature esterne sono elevate. La pompa di calore fornisce raffrescamento agli ambienti, regolando la temperatura dell'acqua in uscita dall'evaporatore. Il grafico sottolinea come il sistema riesca a mantenere un'elevata efficienza anche durante periodi di forte carico termico, adattandosi alle diverse esigenze dell'edificio.

Questa rappresentazione dimostra la flessibilità e l'efficacia della STØNE M1 nel rispondere alle necessità termiche durante tutto l'anno, integrandosi perfettamente con impianti ad alta efficienza.

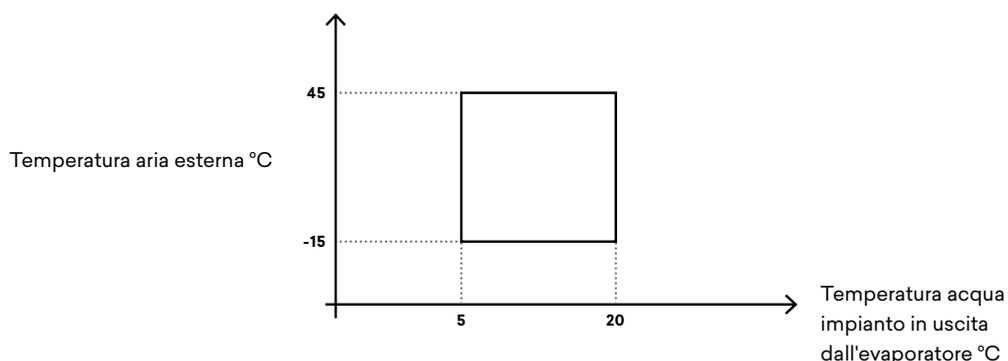


FIGURA 54: Raffreddamento pompa di calore STØNE (Fonte: www.innovaenergie.com)

Nella soluzione Box, l'installazione della pompa di calore STØNE M1 non è stata considerata tecnicamente fattibile per via delle specifiche condizioni progettuali. Dopo un confronto con i tecnici dell'azienda Innova, la scelta è stata orientata verso il modello 3 in 1 Mono, una soluzione più adatta alle esigenze di questo specifico intervento.

Questo sistema, caratterizzato da un'unità interna compatta, riduce significativamente l'impatto visivo in facciata, dove sono visibili soltanto due griglie esterne, garantendo

al contempo prestazioni elevate e un'integrazione estetica ottimale.



FIGURA 55: Pompa di calore 3in1 Mono (Fonte: www.innovaenergie.com)

La pompa di calore aria/acqua monoblocco 3in1 Mono rappresenta quindi una soluzione progettata per rispondere alle esigenze di spazi residenziali ridotti, come appartamenti privi di terrazzi o con terrazzi di dimensioni limitate. Questo sistema si caratterizza per l'assenza di un'unità esterna tradizionale, garantendo un impatto estetico minimo sulla facciata dell'edificio e una maggiore flessibilità d'installazione.

Il sistema integra un modulo per la produzione di acqua calda sanitaria con un serbatoio da 200 litri e una resistenza elettrica da 2 kW. Al suo interno sono inclusi una pompa di circolazione primaria e una valvola deviatrice ACS, che assicurano un funzionamen-

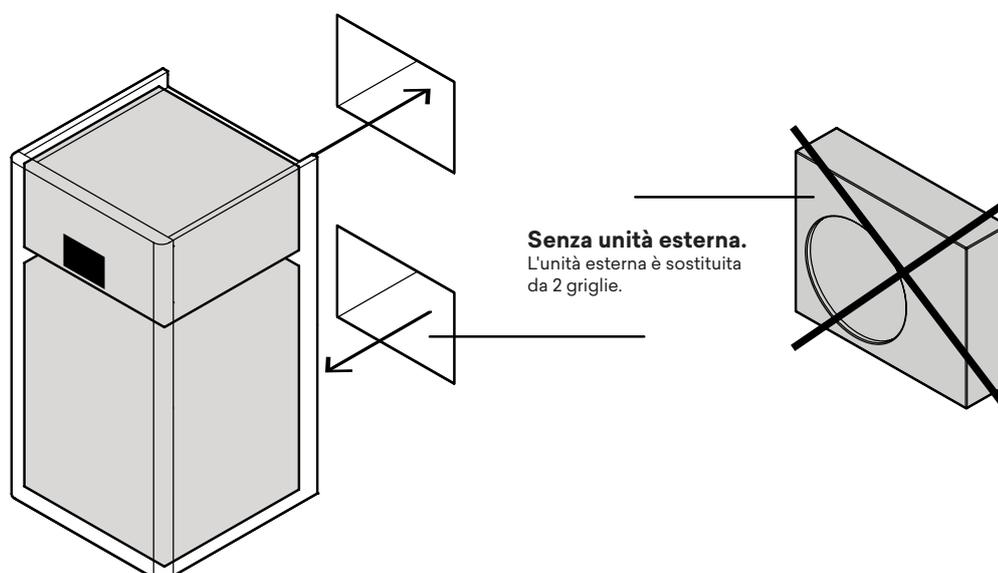


FIGURA 56: Schema di entrata e uscita aria pompa di calore 3in1 Mono (Fonte: www.innovaenergie.com)

to efficiente e un controllo ottimizzato. Tutti i componenti vengono installati, regolati e collaudati direttamente in fabbrica, riducendo gli ingombri e garantendo affidabilità nel tempo.

L'unità interna, compatta ed elegante, ha dimensioni comparabili a quelle di un comune elettrodomestico, mentre la comunicazione con l'esterno avviene attraverso due griglie visibili in facciata. Questa configurazione consente di racchiudere tutti gli elementi tecnici all'interno del mobile, offrendo una soluzione funzionale.

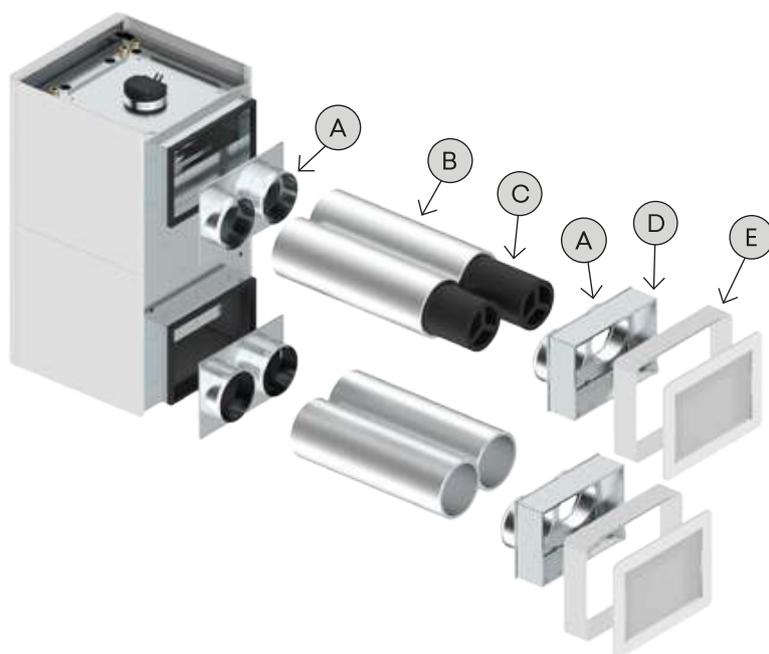


FIGURA 57: Esploso componenti pompa di calore 3in1 Mono (Fonte: www.innovaenergie.com)

Riguardo le componenti che formano la pompa di calore e il suo collegamento con la mandata d'uscita, caratterizzata dalla presenza di due tubi per il passaggio dell'aria. Gli elementi principali sono descritti come segue:

A. Kit di griglie estetiche con plenum:

Comprende una parte da incasso di dimensioni 460x313x120 mm e una griglia esterna visibile da 542x400x16 mm, progettata per un'estetica pulita e integrata.

B. Kit di piastre di espulsione e immissione:

Permette il collegamento ai canali di ventilazione rettangolari o circolari. Le dimensioni rettangolari sono 467x320x87,5 mm, con attacco maschio compatibile con un diametro DN 200 mm.

C. Tubo per canalizzazione:

Tubo specifico per il trasferimento dei flussi d'aria, con un diametro DN 200 mm.

D. Canale telescopico:

Con una lunghezza variabile da 200 mm a 400 mm, presenta un lato macchina di dimensioni 460x313 mm e un lato esterno di 470x353 mm.

E. Silenziatore:

Elemento per la riduzione del rumore, con un diametro DN 200 mm e una lunghezza di 500 mm.

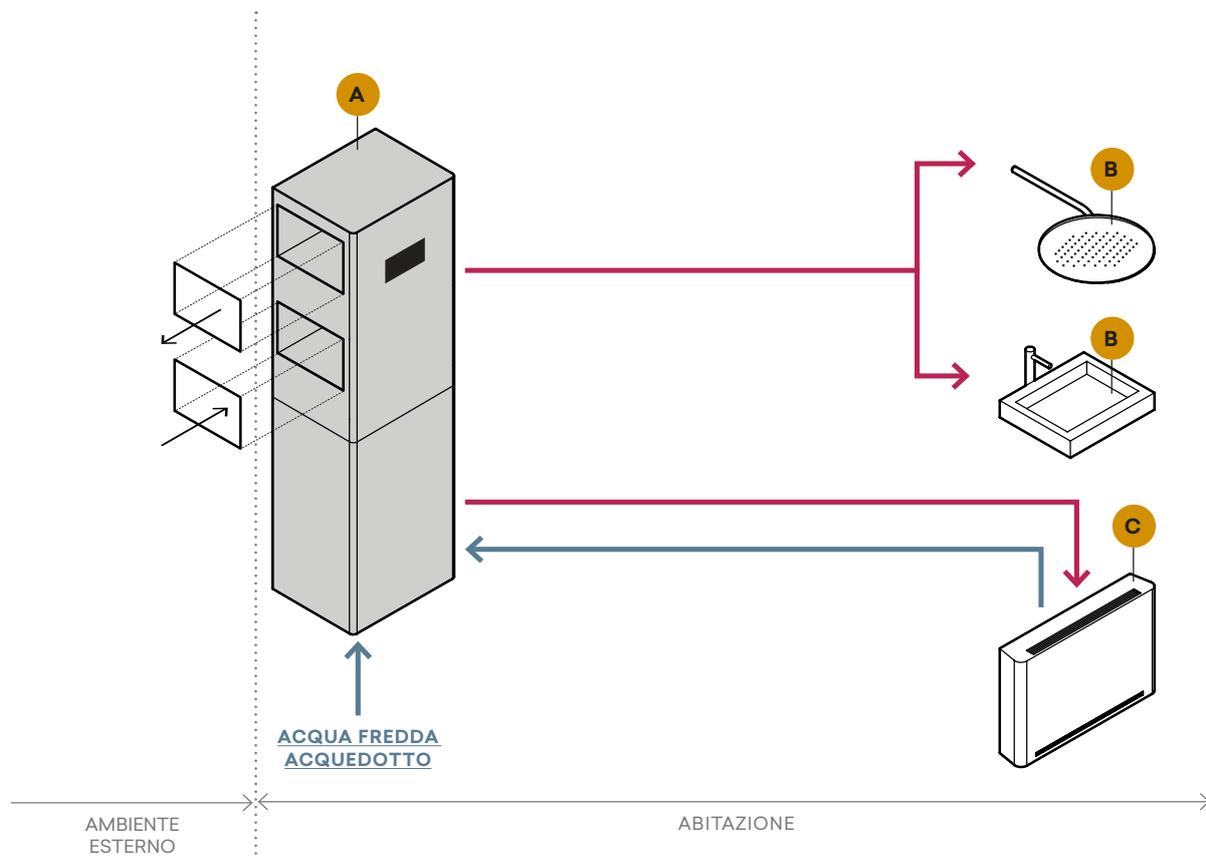


FIGURA 58: Schema impiantistico pompa di calore 3in1 Mono (Fonte: www.innovaenergie.com)

Lo schema di impianto ci illustra la connessione tra i vari elementi del sistema.

A. Unità interna 3in1 Mono: costituisce il cuore del sistema, gestendo la produzione di acqua calda sanitaria e il funzionamento dell'impianto di riscaldamento e raffreddamento.

B. Utenza acqua calda sanitaria: rappresenta i punti di utilizzo dell'acqua calda, come rubinetti e docce.

C. Impianto di riscaldamento e/o raffreddamento: è il sistema collegato all'unità interna, responsabile della distribuzione della climatizzazione (caldo o freddo) all'interno dell'abitazione.

L'acqua fredda proveniente dall'acquedotto viene trasformata in acqua calda sanitaria o utilizzata per alimentare l'impianto di riscaldamento/raffreddamento.

Analizzando anche qui la scheda tecnica, possiamo osservarne le principali prestazioni e caratteristiche, progettata per garantire efficienza energetica e versatilità sia in riscaldamento che in raffreddamento. Il sistema si distingue per le sue elevate prestazioni, con una potenza termica e frigorifera che si adatta a diverse condizioni operative.

In riscaldamento, raggiunge una classe energetica A++ con un COP elevato, che varia leggermente tra le due versioni, confermando un'efficienza ottimale anche in climi più rigidi. In raffreddamento, le prestazioni rimangono di alto livello, dimostrando la capacità del sistema di rispondere alle esigenze di climatizzazione durante tutto l'anno.

DATI TECNICI		3in1 Mono	
		5M	7M
	u.m.		
PRESTAZIONI IN RISCALDAMENTO (A7°C BS; W35°C)			
Potenza termica massima (1)	kW	7,50	9,04
Potenza termica nominale (1)	kW	4,49	5,52
Potenza totale assorbita (1)	kW	1,02	1,28
COP (1)		4,40	4,31
SCOP (1)		4,21	4,13
Classe di efficienza energetica		A++	
PRESTAZIONI IN RISCALDAMENTO (A-7°C BS; W35°C)			
Potenza termica massima (2)	kW	5,16	6,24
Potenza totale assorbita (2)	kW	1,76	2,40
COP (2)		2,93	2,60
PRESTAZIONI IN RAFFREDDAMENTO (A35°C; W18°C)			
Potenza frigorifera massima (3)	kW	8,11	10,28
Potenza frigorifera nominale (3)	kW	5,53	6,56
Potenza totale assorbita (3)	kW	1,38	1,67
EER (3)		4,01	3,93
PRESTAZIONI IN RAFFREDDAMENTO (A35°C; W7°C)			
Potenza frigorifera massima (4)	kW	6,25	7,83
Potenza frigorifera nominale (4)	kW	4,04	4,88
Potenza totale assorbita (4)	kW	1,38	1,78
EER (4)		2,93	2,74
DATI IDRAULICI			
Portata nominale	L/min	15,0	21,0
Prevalenza utile circuito primario	kPa	65,0	55,0
Diametro attacchi idraulici	"GAS	1	1
Capacità vaso di espansione	L	4	4
Minimo contenuto d'acqua d'impianto	L	20	20
Capacità bollitore ACS	L	200	200
ATTACCHI AERAILICI			
Tipo di ventilatore		Modulante	
Portata aria alla massima velocità	m³/h	1850	2200
Portata aria alla minima velocità	m³/h	750	900
Pressione statica nominale settata	Pa	80	80
Pressione massima statica disponibile (5)	Pa	200	200
Diametro fori parete	mm	200	200
Espulsione/immissione	(bxh) mm	470 x 350	

FIGURA 59: Scheda tecnica pompa di calore 3in1 Mono (Fonte: www.innovaenergie.com)

DATI TECNICI		3in1 Mono	
		5M	7M
		u.m.	
DATI GAS REFRIGERANTE			
Compressore		Twin Rotary DC Inverter	
Refrigerante		R32	
Carica refrigerante	kg	1,55	1,55
DATI SONORI			
Pressione sonora nominale (indoor)	dB(A)	42	44
Potenza sonora nominale (indoor)	dB(A)	56,6	58,8
Pressione sonora nominale (outdoor) senza silenziatore	dB(A)	57,5	60
Potenza sonora nominale (outdoor) senza silenziatore	dB(A)	72,5	75,4
DATI ELETTRICI			
Tensione	V/ph/Hz	230/1/50	230/1/50
Massima potenza assorbita	kW	3,80	4,10
Massima corrente assorbita	A	14,00	19,00
Massima potenza assorbita booster	kW	2,00	2,00
Massima corrente assorbita booster	A	8,60	8,60
Grado di protezione unità interna		IPX2	
DIMENSIONI E PESI UNITÀ SV - VERSIONE CON ABBINAMENTO ORIZZONTALE			
Larghezza	mm	604	604
Altezza	mm	2230	2230
Profondità	mm	608	608
Peso netto	kg	240,0	240,0
DIMENSIONI E PESI UNITÀ SH - VERSIONE CON ABBINAMENTO VERTICALE			
Larghezza	mm	1208	1208
Altezza	mm	1228	1228
Profondità	mm	608	608
Peso netto (7)	kg	125,0 / 115,0	125,0 / 115,0
DIMENSIONI E PESI UNITÀ S - VERSIONE SINGOLA			
Larghezza	mm	604	604
Altezza	mm	1145	1145
Profondità	mm	608	608
Peso netto	kg	125,0	125,0

FIGURA 60: Scheda tecnica pompa di calore 3in1 Mono (Fonte: www.innovaenergie.com)

È stata poi fatta un'ipotesi di integrazione di un sistema di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC), optando per soluzioni che fossero il più miniaturizzate possibile per garantire un'integrazione armoniosa con la facciata. Per questo motivo, la scelta è ricaduta sui prodotti Thesan, (www.thesan.com) che offrono un design compatto e una funzionalità avanzata, con due diverse soluzioni valutate: una VMC incassata a muro e una VMC integrata nel serramento.

La soluzione con VMC incassata a muro prevede l'integrazione del sistema Aircare direttamente nella muratura perimetrale. Questo approccio offre il vantaggio di non ridurre la superficie vetrata e di non richiedere la sostituzione dei serramenti esistenti. La VMC risulta totalmente nascosta, con l'unico elemento visibile costituito da due piccole griglie, assicurando un impatto visivo minimo e un'efficienza termica dell'82%, grazie allo scambiatore di calore.

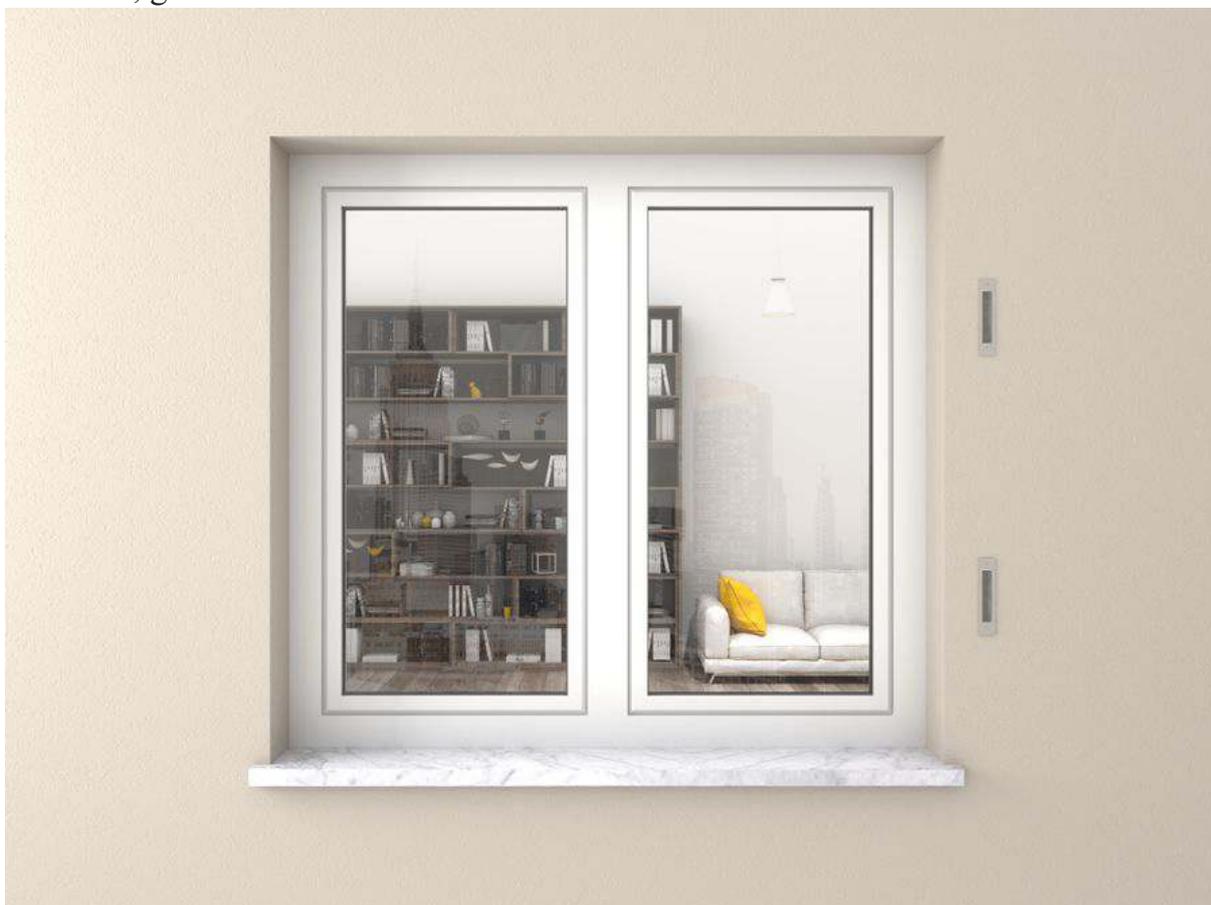


FIGURA 61: Vista dall'esterno VMC incassata a muro (Fonte: www.thesan.com)

La seconda soluzione, invece, prevede la VMC integrata nel serramento, ideale in caso di sostituzione degli infissi. Questo sistema si installa rapidamente, senza la necessità di opere murarie particolari, e richiede soltanto 10 cm di spazio tra il telaio e il contro-telaio per l'alloggiamento. La posa può essere effettuata contestualmente all'installazione del serramento, offrendo un'opzione pratica e priva di costi aggiuntivi per interventi separati.

Entrambe le soluzioni utilizzano un sistema decentralizzato di ventilazione meccanica con recupero di calore e filtrazione dell'aria, garantendo il ricambio e la purificazione dell'aria negli ambienti interni. Il dispositivo è dotato di uno scambiatore entalpico che bilancia energia termica e umidità, assicurando un'aria immessa con temperatura e umidità vicine a quelle interne. Inoltre, il sistema è equipaggiato con un triplo filtro in

grado di eliminare il 98% delle polveri sottili (PM2.5) e la totalità del PM10, nonché pollini, acari e batteri di dimensioni superiori a 0,4 µm, contribuendo significativamente al comfort e alla salubrità dell'ambiente abitativo.

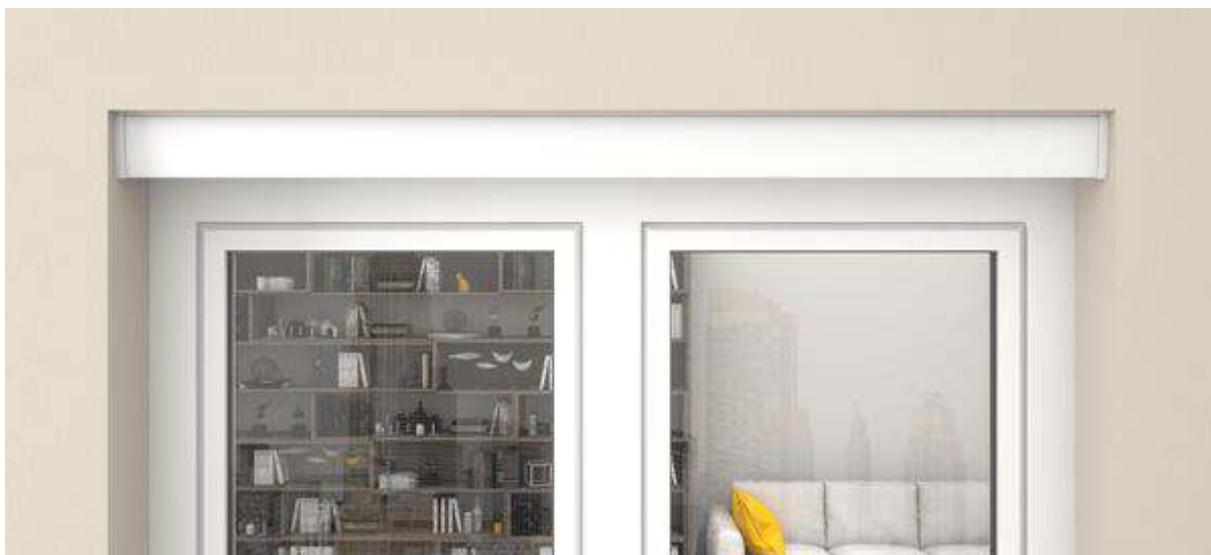


FIGURA 62: Vista dall'esterno VMC integrata a serramento (Fonte: www.thesan.com)

Analizzando la scheda tecnica, si evidenzia che il dispositivo offre cinque velocità di funzionamento, con portate d'aria che variano da 15 m³/h a 41 m³/h. All'aumentare della velocità, si osserva un incremento della potenza sonora, passando da 37 dB a 51 dB, e della pressione sonora rilevata a 3 metri di distanza, che varia da 19 dB a 33 dB. L'efficienza termica diminuisce progressivamente con l'incremento della velocità, passando dall'82% alla velocità minima al 69% a quella massima. Infine, l'assorbimento energetico alla spina varia da 4,6 W alla velocità più bassa fino a 20,6 W alla velocità più alta, avendo quindi un consumo energetico proporzionale al livello di prestazione.

(*) Velocità	(*) Portata [m ³ /h]	(*) Potenza sonora LwA [dB]	(**) Pressione sonora Lp (a 3m) [dB]	(***) Pressione sonora Lp [dB]	(*) Efficienza termica %	Assorbimento alla spina [W]
1	15	37	19	30	82	4,6
2	20	40	22	33	79	5,8
3	30	45	27	38	74	10,3
4	35	48	30	41	72	14,6
5	41	51	33	44	69	20,6

FIGURA 63: Dati tecnici VMC (Fonte: www.thesan.com)

3.5 Facilità di manutenzione e gestione degli impianti

Un elemento fondamentale nella manutenzione e gestione impiantistica è rappresentato dalla trave/frame (primo elemento del nostro intervento), progettata per contenere in modo ordinato e accessibile tutte le tubazioni e i cavi necessari, garantendo sia un'elevata integrazione con la facciata sia una riduzione dell'impatto visivo. Inoltre, un focus specifico è effettuato sulla manutenzione della pompa di calore STØNE, la cui accessibilità è stata semplificata tramite un pannello removibile posizionato strategicamente in corrispondenza dell'imbotte sotto la finestra.

Nel sistema, i tubi svolgono un ruolo fondamentale per garantire il corretto funzionamento della pompa di calore e la gestione dei fluidi. Il primo da considerare è quello di mandata dell'acqua calda, che trasporta il fluido riscaldato dalla pompa di calore verso il sistema di distribuzione interno all'edificio, come radiatori, pannelli radianti o il circuito di acqua calda sanitaria. Deve essere adeguatamente isolato termicamente per evitare dispersioni di calore durante il percorso, massimizzando l'efficienza energetica dell'impianto, sarà infatti presente un isolante protettivo all'interno della trave impiantistica.

Il secondo è quello di ritorno, che permette all'acqua, ormai raffreddata di tornare alla pompa di calore per essere nuovamente riscaldata. Anche quest'ultimo richiede un buon isolamento termico, in modo da mantenere costante la temperatura e ottimizzare il processo di riscaldamento successivo.

Altro elemento chiave del progetto è il tubo di scarico della condensa, che ha il compito di smaltire l'acqua prodotta dal processo di condensazione all'interno della pompa di calore. Questo tubo è collegato direttamente a una fioriera posta al di sotto della pompa di calore nella soluzione space, la quale utilizza parte dell'acqua di condensa per l'irrigazione delle piante, offrendo una soluzione sostenibile. L'acqua in eccesso, che non può essere utilizzata dalla fioriera, viene incanalata verso i "pipe" verticali posizionati lungo la facciata, che si occupano di raccogliere e smaltire l'acqua in maniera sicura, indirizzandola verso il terreno. Affinché il tubo di scarico funzioni correttamente, è fondamentale garantire una pendenza adeguata lungo tutto il suo percorso, così da favorire un deflusso naturale della condensa. Tuttavia, nelle aree in cui la pendenza non può essere garantita, potrebbe essere necessario studiare soluzioni alternative come ad esempio l'utilizzo di apposite pompe di sollevamento (utile per la soluzione box) o valutare piccole modifiche al layout del progetto.

Un altro elemento indispensabile del sistema sono i cavi necessari della pompa di calore e dei moduli fotovoltaici, anche questi ultimi contenuti all'interno della trave

impiantistica, responsabili di fornire energia elettrica, garantire il controllo e la comunicazione tra le varie componenti e distribuire l'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici. Tutti i cavi sono contenuti in un corrugato, che non solo li protegge da eventuali danni meccanici o dagli agenti atmosferici, ma semplifica anche la manutenzione e l'organizzazione dei cablaggi.

I cavi elettrici che alimentano la pompa di calore sono progettati per trasportare l'energia necessaria al suo funzionamento e sono collegati direttamente al quadro elettrico principale dell'edificio.

Un ulteriore gruppo di cavi è dedicato al controllo e alla gestione del sistema. Questi cavi permettono la comunicazione tra il termostato, i sensori interni ed esterni e l'unità centrale della pompa di calore. Grazie a questi cablaggi, è possibile regolare il funzionamento della pompa in base alle esigenze dell'utente e alle condizioni ambientali.

Infine, ci sono i cavi che collegano i pannelli fotovoltaici all'inverter e al sistema di distribuzione dell'energia. Questi, sono progettati per trasportare in modo efficiente la corrente generata dai pannelli, che verrà poi trasformata e immagazzinata, o direttamente utilizzata per alimentare l'impianto. La scelta e il dimensionamento di questi cavi dipendono dalla potenza generata dai pannelli, scelti dall'utente.

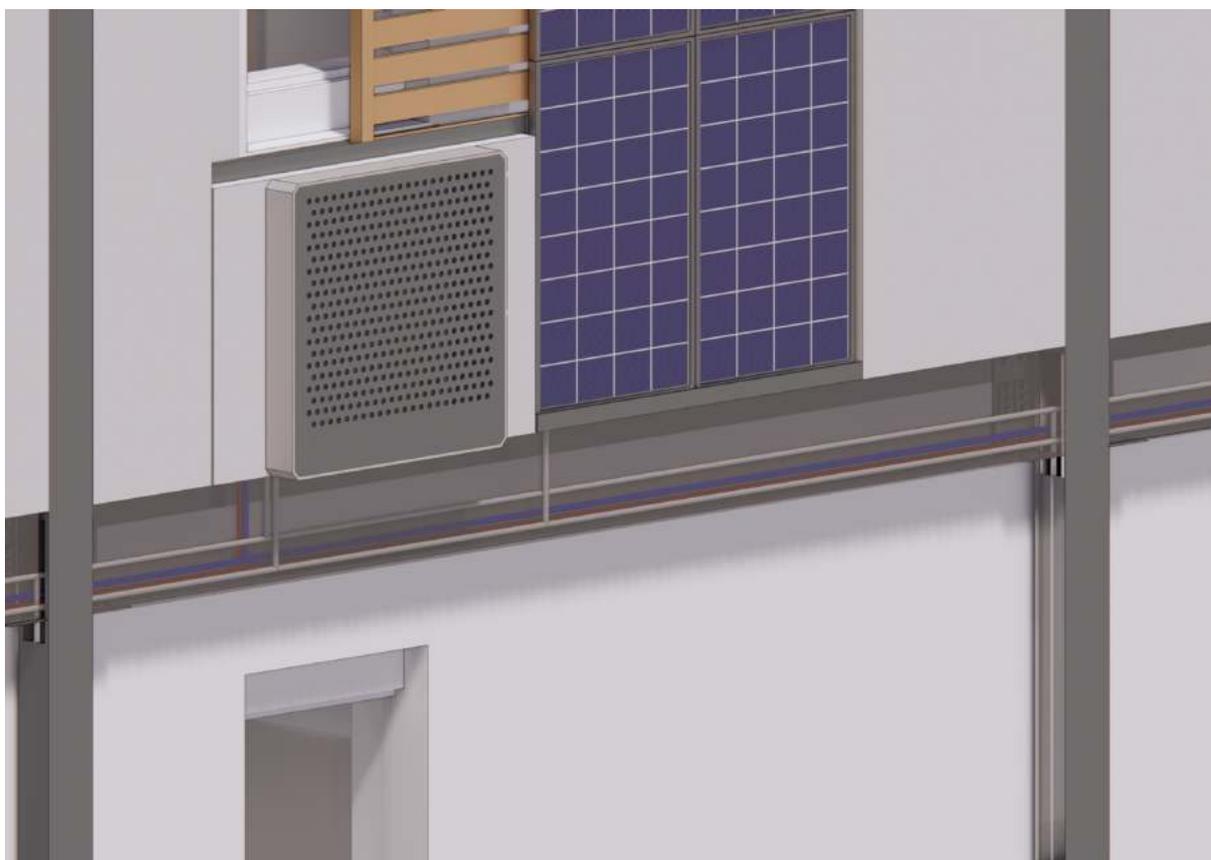


FIGURA 64: Vista impianti intervento Panel con pompa di calore STØNE



FIGURA 65: Vista impianti intervento Space con pompa di calore STØNE

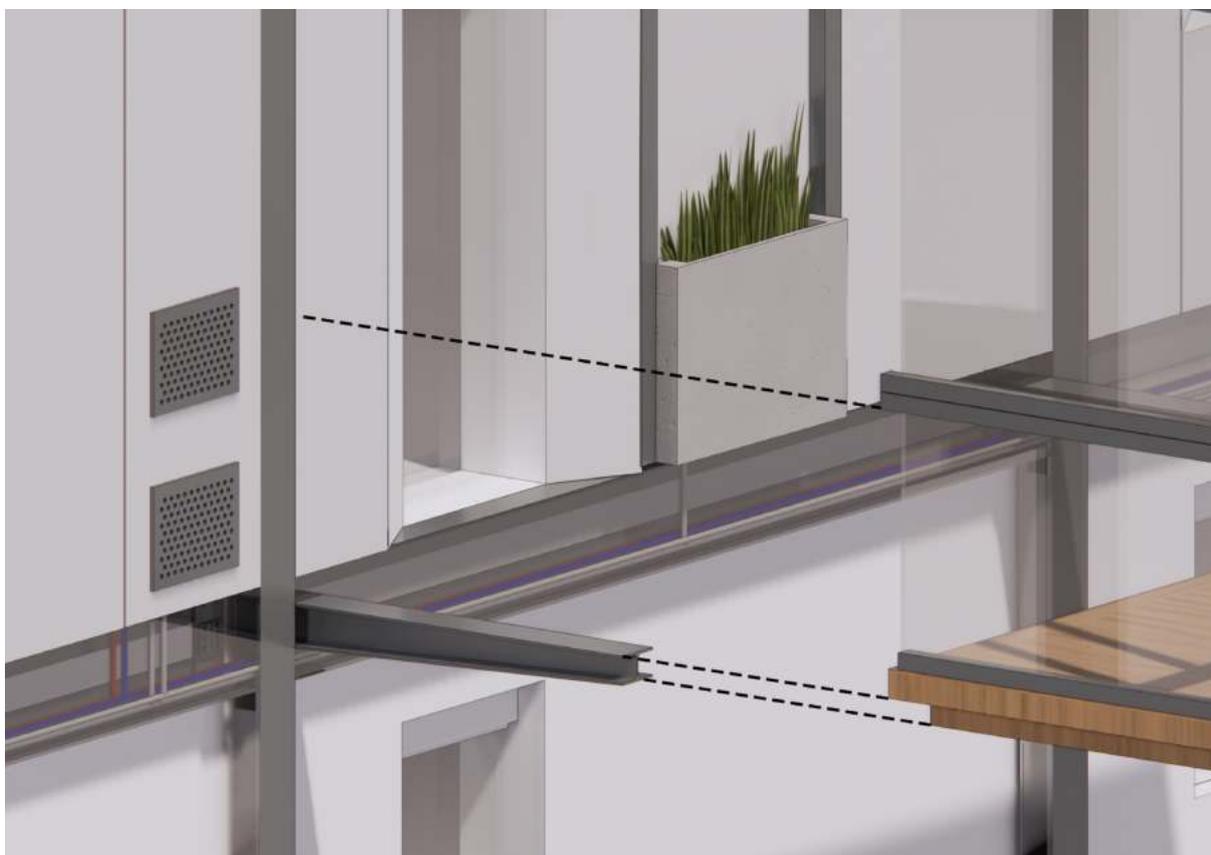


FIGURA 66: Vista impianti intervento Box con pompa di calore 3in1 Mono

Nel progetto, la trave impiantistica, che funge da vano tecnico per il passaggio di cavi e tubazioni, concepita come una soluzione pratica e funzionale è quindi previsto un pannello removibile a chiusura della trave stessa.

Questa scelta progettuale è stata fatta per garantire un accesso agevole agli impianti durante le fasi di manutenzione o eventuali interventi futuri. Il pannello removibile consente di ispezionare, riparare o sostituire cavi e tubazioni senza dover intervenire in modo invasivo sulla struttura o sulla facciata.

La chiusura è studiata per integrarsi esteticamente con l'edificio, evitando che il pannello visibile comprometta il design complessivo. Inoltre, grazie alla modularità del sistema, il pannello può essere fissato con sistemi di ancoraggio rapidi, come viti o meccanismi a scatto, che ne facilitano la rimozione e il riposizionamento.

Questa soluzione non solo migliora la manutenzione ordinaria, ma risponde anche all'obiettivo di versatilità e innovatività del progetto, rendendo gli interventi futuri più rapidi ed economici, riducendo al minimo i tempi di fermo dell'impianto e gli eventuali disagi per l'utenza.

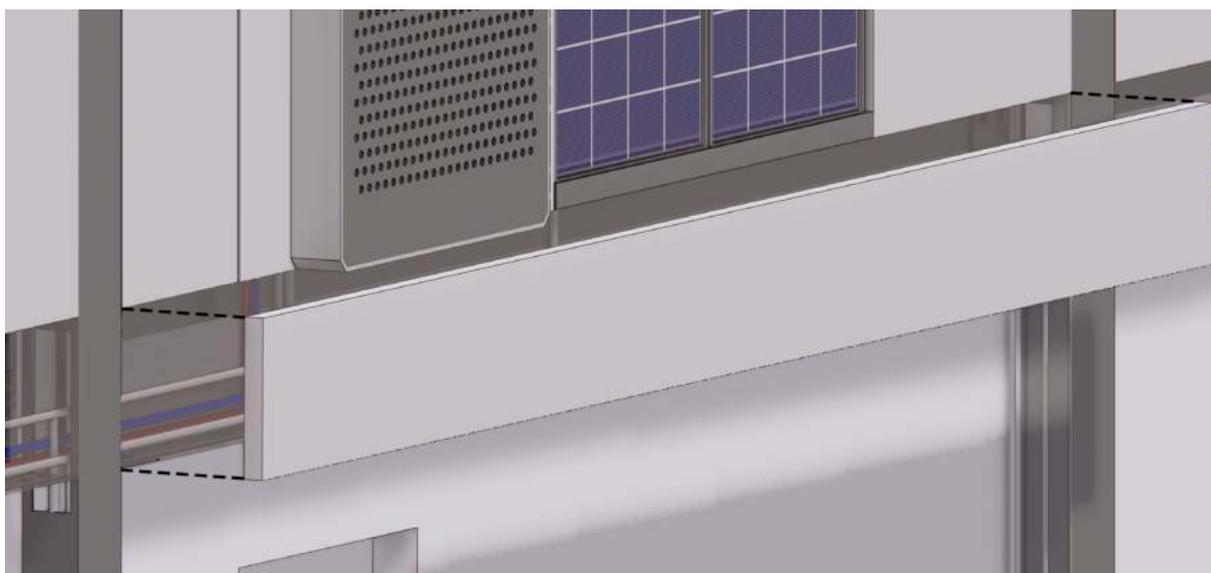


FIGURA 67: Pannello protettivo removibile su trave impiantistica

La manutenzione della pompa di calore “STØNE” è progettata per essere semplice e accessibile, riducendo al minimo eventuali disagi durante le operazioni tecniche. Grazie alla presenza di un pannello removibile (parte della strombatura data dal pannello in prossimità della finestra) posizionato sulla parte superiore dell'unità, è possibile accedere direttamente ai componenti interni per ispezioni, pulizia o interventi di riparazione.

Questo approccio elimina la necessità di smontaggi complessi o interventi invasivi, garantendo una gestione pratica e veloce delle attività di manutenzione ordinaria. Inoltre, in caso di interventi straordinari che richiedano la sostituzione completa o una revisione approfondita, l'unità può essere facilmente sfilata dal suo alloggiamento grazie alla progettazione modulare del sistema.

Questa soluzione assicura una manutenzione agevole. L'accesso rapido e la modularità contribuisce a prolungare la vita della pompa di calore, semplificando la gestione tecnica e riducendo i costi legati alla manutenzione.

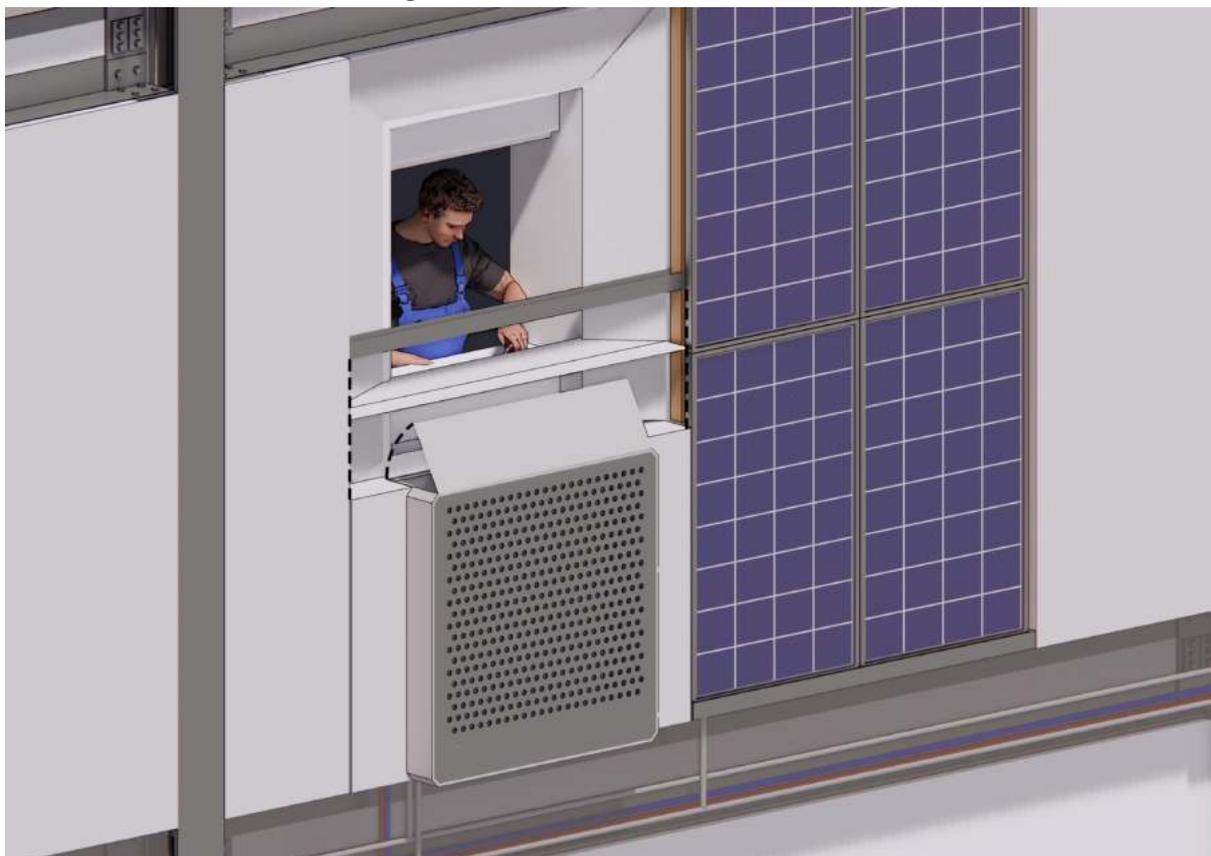


FIGURA 68: Manutenzione ordinaria pompa di calore STØNE

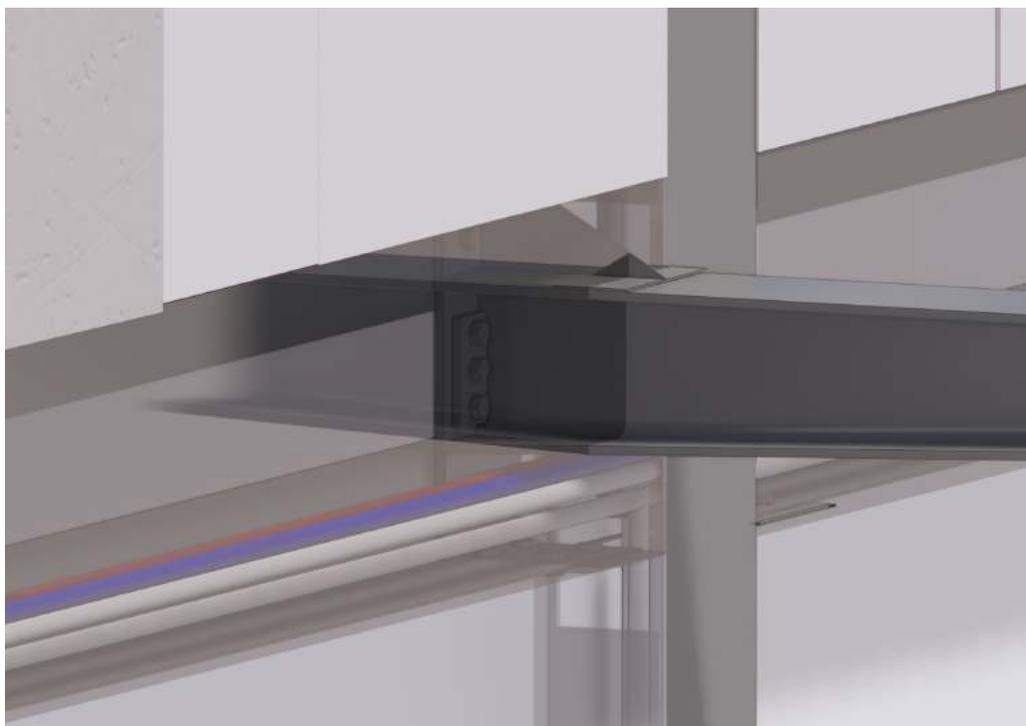


FIGURA 69: Dettaglio di passaggio impianti al di sotto della trave HEA 200 rastremata

3.6 Simulazioni delle fasi di montaggio e verifica di fattibilità tecnica

Sono state studiate nel dettaglio le fasi di montaggio che interessano le soluzioni progettuali proposte, dall'intervento Frame fino all'intervento Space. Attraverso queste simulazioni si analizzano i passaggi necessari per l'installazione della trave impiantistica, fino ad arrivare al montaggio del balcone, effettuato tutto il più possibile a secco. Le simulazioni permettono di visualizzare l'intero processo esecutivo, mettendo in evidenza la sequenza operativa e le eventuali interazioni tra i vari componenti. Ogni passaggio è corredato da immagini che descrivono il montaggio degli elementi, verificando la compatibilità degli interventi con il contesto progettuale e le condizioni di cantiere. Ciò, con l'obiettivo di garantire fin da subito una fattibilità tecnica chiara, anticipando possibili criticità legate alla posa in opera o alla gestione dei dettagli costruttivi. L'approccio consente di valutare l'efficacia delle soluzioni adottate e di ottimizzare i tempi di intervento.

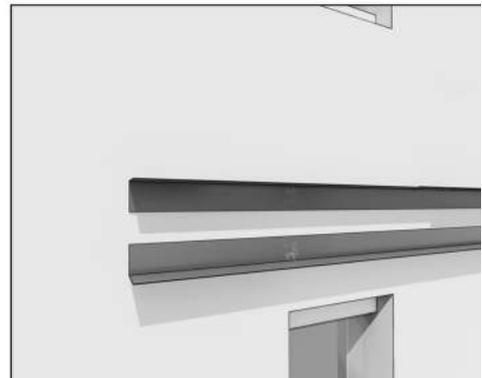


FIGURA 70: Fase di montaggio 1



FIGURA 71: Fase di montaggio 2

FASE 1 **MONTAGGIO PROFILATI** **AD L 18 x 15 cm.**



FASE 2 **MONTAGGIO PIATTO 40 x 20 cm.**

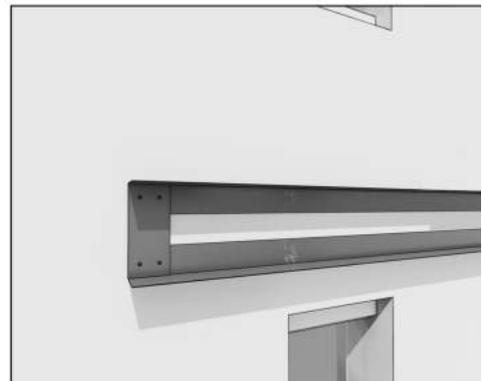




FIGURA 72: Fase di montaggio 3

FASE 3 FISSAGGIO BULLONATURE M16



FIGURA 73: Fase di montaggio 4

FASE 4 MONTAGGIO PANNELLI



FIGURA 74: Fase di montaggio 5

FASE 5 MONTAGGIO "PIPE" VERTICALI

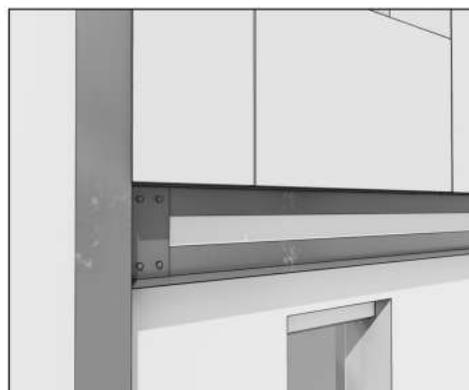




FIGURA 75: Fase di montaggio 6

FASE 6 MONTAGGIO PROFILATO AD L CON GINOCCHIA DI IRRIGIDIMENTO



FIGURA 76: Fase di montaggio 7

FASE 7 MONTAGGIO TRAVE RASTREMATA HEA 200



FIGURA 77: Fase di montaggio 8

FASE 8 FISSAGGIO ELEMENTO DI GIUNZIONE A TRAVE RASTREMATA





FIGURA 78: Fase di montaggio 9

FASE 9

**FISSAGGIO SOLAIO MONTATO
A SECCO**



FIGURA 79: Fase di montaggio 10

FASE 10

RIMOZIONE PANNELLO FINESTRA



FIGURA 80: Fase di montaggio 11

FASE 11

**DEMOLIZIONE PER REALIZZAZIONE
APERTURA PORTA-FINESTRA**





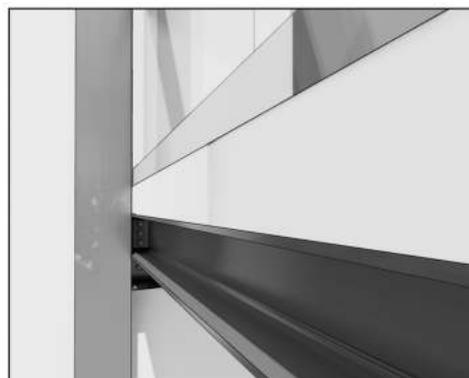
FIGURA 81: Fase di montaggio 12

FASE 12 **MONTAGGIO PANNELLO** **PORTA-FINESTRA**



FIGURA 82: Fase di montaggio 13

FASE 13 **MONTAGGIO PARAPETTO**



Il montaggio delle travi portaimpianti e dei pannelli isolanti è stato progettato seguendo un approccio plug and play, che consente di minimizzare i tempi di esecuzione e di facilitare le operazioni in cantiere. Il sistema è concepito con materiali leggeri e modulari, per un'installazione a secco che evita l'uso di soluzioni tradizionali più complesse che avrebbero comportato sia un aumento dei costi che dei tempi di cantiere.

Per sviluppare la scheda di procedimento e stimare le tempistiche delle lavorazioni, si è preso come riferimento da prezzo il montaggio di un curtain wall (Gieri, Vincenzo. Analisi dei prezzi unitari in edilizia. Maggioli Editore, 2006). Nello specifico, sono stati considerati moduli di dimensioni 90x320 cm e peso 8 kg/m². Questo riferimento fornisce un fattore di sicurezza poiché i pannelli isolanti adottati nel progetto risultano essere più leggeri, semplificando ulteriormente le operazioni di posa.

Codice	Oggetto delle analisi Provviste per la formazione dell'oggetto	U.M.	Quantità	Prezzo unitario	Totale	Totale arrotondato
9.02.26	Facciata continua (curtain wall) costituita da reticolo strutturale di montanti e traverse da assemblare in opera in profilati estrusi di alluminio anodizzato (15 micron) del peso di 8 kg/mq; pannelli fissi trasparenti, composti di lastra esterna di vetro riflettente t.l. 45%, spessore 8 mm, fissata ai telai con silicone strutturale, camera d'aria da 12 mm e lastra interna di vetro spesso 6 mm; pannelli ciechi fissi composti da lastra esterna di vetro riflettente opacizzato da 8 mm e pannello isolante rifinito internamente con lamiera d'acciaio preverniciata,					
a)	guarnizioni in EPDM o neoprene; dispositivi di supporto e collegamento agli ancoraggi in acciaio zincato a caldo o alluminio. Caratteristiche di tenuta e isolamento secondo gli standard U.N.C.S.A.A.L., compresi le opere murarie, gli sfridi, i tagli a misura, il tiro e il calo dei materiali, i ponti di servizio fino a 4 m dal piano di appoggio e ogni altro onere e magistero per dare il lavoro finito a regola d'arte: modulo cm 90x320	mq	1,0000			
	Facciata continua (curtain wall) modulo cm 90x320	mq	1,0000	184,01	184,0100	184,01
	Operaio edile specializzato di 3° livello	h	0,3000	20,52	6,1560	6,16
	Operaio edile qualificato di 2° livello	h	0,3000	19,88	5,9640	5,96
	Totale costi primari				196,1300	196,13
	Spese generali nella misura del 13%		13%		25,4969	25,50
	Utile d'impresa = 10% x (totali costi primari + spese generali)		10%		22,1627	22,16
	PREZZO DI APPLICAZIONE	€			243,7896	243,79
	Costo manodopera e % riferita al totale dei costi primari				12,1200	6,18%
	Costo materiali e % riferita al totale dei costi primari				184,0100	93,82%
	Costo noli e trasporti e % riferita al totale dei costi primari					0,00%
	Totale %					100,00%

FIGURA 83: Sezione da prezzario montaggio curtain wall (Fonte: Gieri, Vincenzo. Analisi dei prezzi unitari in edilizia. Maggioli Editore, 2006).

Dopo aver analizzato la voce di montaggio del curtain wall da tempario è stata realizzata la scheda di procedimento per poterne descrivere con più precisione le fasi di lavoro necessarie per il montaggio delle travi e dei pannelli isolanti sulla facciata, la scelta è stata indirizzata e organizzata in modo da garantire un'esecuzione efficiente con due squadre operative che lavorano simultaneamente. Le fasi principali sono:

-1 Preparazione del cantiere

La prima fase ha una durata di 1,5 ore. Entrambe le squadre si occupano dell'allestimento delle attrezzature necessarie e del posizionamento dei dispositivi di sicurezza

(ponteggi, piattaforme aeree, DPI).

-2 Montaggio delle travi portaimpanti

Una squadra si dedica poi della seconda fase, al montaggio delle travi portaimpanti prefabbricate, il tutto per una durata di 8,7 ore. Queste travi sono in acciaio sono progettate per essere fissate mediante staffaggi modulari e bulloneria rapida M16.

3. Montaggio dei pannelli isolanti

La seconda squadra lavora simultaneamente al montaggio dei pannelli isolanti, utilizzando un sistema a secco con clip di fissaggio rapido e moduli prefabbricati. Le dimensioni e il peso ridotto dei pannelli garantiscono una posa più agevole rispetto ai curtain wall presi come riferimento. Anche questa fase ha una durata di 8,7 ore, e la squadra 2 può iniziare ad operare dopo il montaggio delle prime travi impiantistiche.

4. Controlli finali e finiture

Entrambe le squadre verificano poi l'allineamento e la stabilità delle travi e dei pannelli, completano la sigillatura dei giunti e rimuovono eventuali attrezzature temporanee.

Il procedimento descritto è stato elaborato tenendo conto della necessità di garantire un lavoro rapido e sicuro, utilizzando il riferimento dei curtain wall come base per la stima delle tempistiche. La leggerezza dei pannelli adottati nel progetto rappresenta un

SCHEDA DI PROCEDIMENTO															
PROCEDIMENTO: Montaggio in facciata di travi portaimpanti e di pannelli isolanti per una superficie complessiva di 78 mq. Il lavoro sarà suddiviso tra due squadre operative, una dedicata al montaggio delle travi e l'altra alla posa dei pannelli isolanti, seguendo una sequenza comparabile al montaggio di un curtain wall.															
CODICE PROCEDIMENTO 9.02.26	DESCRIZIONE ATTIVITA'	PROD. UNIT. 78 mq	COMPOSIZIONE SQUADRA											TEMPO	
			SQUADRA 1												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
			OPERAIO EDILE QUALIFICATO DI 2° LIVELLO												100%
			OPERAIO EDILE SPECIALIZZATO DI 3° LIVELLO												100%
			SQUADRA 2												
TEMPO UNIT															
OPERAIO EDILE QUALIFICATO DI 2° LIVELLO											100%				
OPERAIO EDILE SPECIALIZZATO DI 3° LIVELLO											100%				
ORE LAVORATIVE															
CODICE ATT.	DURATA ATTIV.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
A01	Preparazione	1,5 ore			1-2	3-4									
A02	Montaggio delle travi portaimpanti	5,85 ore										1-2			
A03	Montaggio dei pannelli	5,85 ore										3-4			
A04	Controlli e finiture	1,5 ore											1-2-3-4		
MATERIALI				ATTREZZATURE											
MOD SP	Travi prefabbricate plug and play			Saldatrice											
	Staffaggi modulari			Avvitatore elettrico											
	Bulloneria rapida			Livella laser											
	Guarnizioni elastomeriche			PLE											
	Pannelli isolanti modulari			Autogru											
	Clip o connettori a scatto			Camion per trasporto materiali											
			DPI												

FIGURA 84: Scheda di procedimento fabbricativo

vantaggio significativo rispetto al sistema considerato dal prezzario, avendo quindi un fattore di sicurezza a livello di tempistiche.

Come possibile notare dalla scheda di procedimento è stato ipotizzato che una singola unità immobiliare abbia 78 mq di facciata sottoposta a intervento. Durante le operazio-

ni di montaggio delle travi portaimpanti e dei pannelli isolanti, le due squadre lavorano simultaneamente e in modo coordinato, succedendosi nello spazio di intervento. Grazie a questo approccio, entrambe le fasi principali (montaggio travi e montaggio pannelli) possono essere svolte in parallelo, riducendo significativamente i tempi di

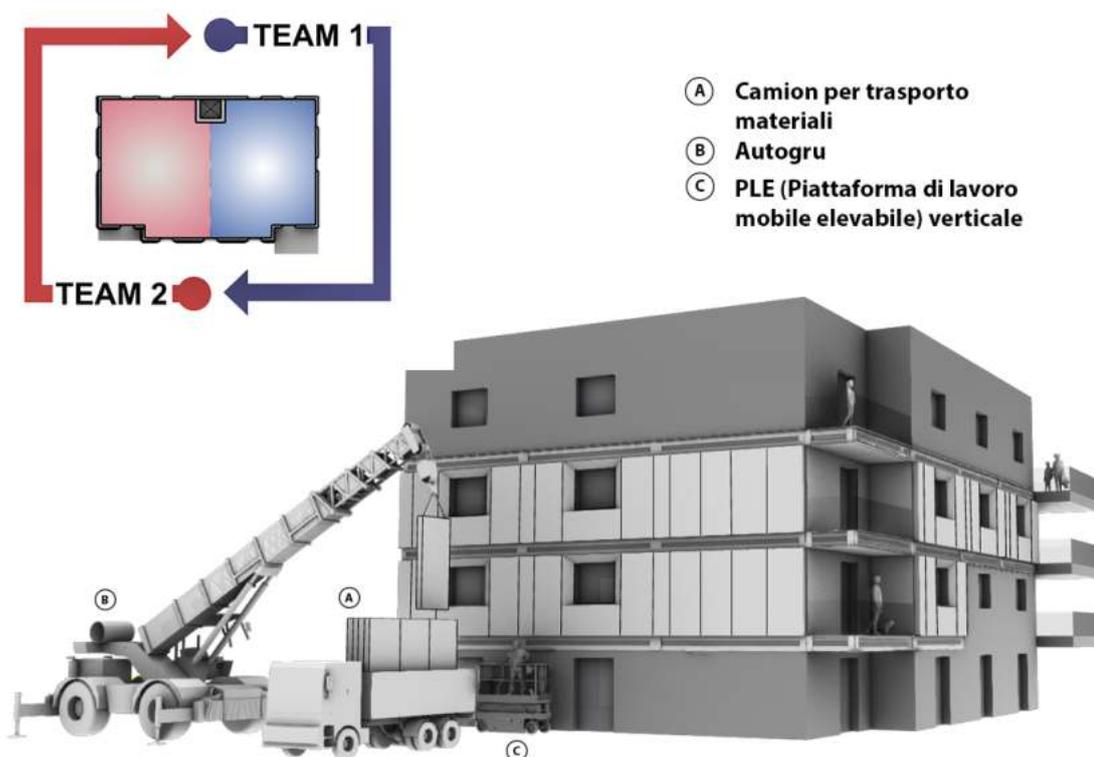


FIGURA 85: Schematizzazione di cantiere su “reference building”

esecuzione. Il lavoro simultaneo delle due squadre consente di completare il montaggio delle travi e dei pannelli in una giornata lavorativa e mezza.

Nell’immagine soprastante sono rappresentate, a livello simbolico, le possibili macchine di movimento utilizzate da ciascuna squadra, a supporto delle operazioni. Tali macchine sono fondamentali per il posizionamento rapido e sicuro dei materiali prefabbricati in facciata, garantendo un lavoro efficiente e ordinato.

Un ulteriore vantaggio del sistema adottato è l’utilizzo di elementi modulari e di ridotte dimensioni, che consente di effettuare tutte le lavorazioni necessarie senza l’impiego di ponteggi. Questo approccio elimina eventuali disagi per le unità immobiliari che non richiedono o non intendono apportare interventi, permettendo di lavorare esclusivamente sulle parti interessate senza interferire con gli spazi circostanti.

I materiali vengono trasportati in cantiere tramite un apposito camion che può spostarsi tra i due team di intervento. Per il sollevamento e il posizionamento dei pannelli e delle travi in facciata, si utilizza un’autogru, che assicura precisione e rapidità nelle

operazioni. In alternativa, è possibile impiegare un Manitou, sollevatore telescopico particolarmente versatile, ideale per situazioni in cui l'autogru risulti meno adatta, ad esempio in spazi ristretti o contesti con maggiore necessità di manovrabilità.

Infine, una piattaforma di lavoro elevabile (PLE) verticale viene utilizzata per consentire agli operatori di accedere in sicurezza alla facciata, eliminando la necessità di ponteggi e riducendo i disagi per le unità immobiliari non coinvolte nell'intervento.

Per rendere più comprensibili le fasi di montaggio, è stato realizzato un video esplicativo dove è possibile vedere la realizzazione passo dopo passo, dall'intervento frame all'intervento space.

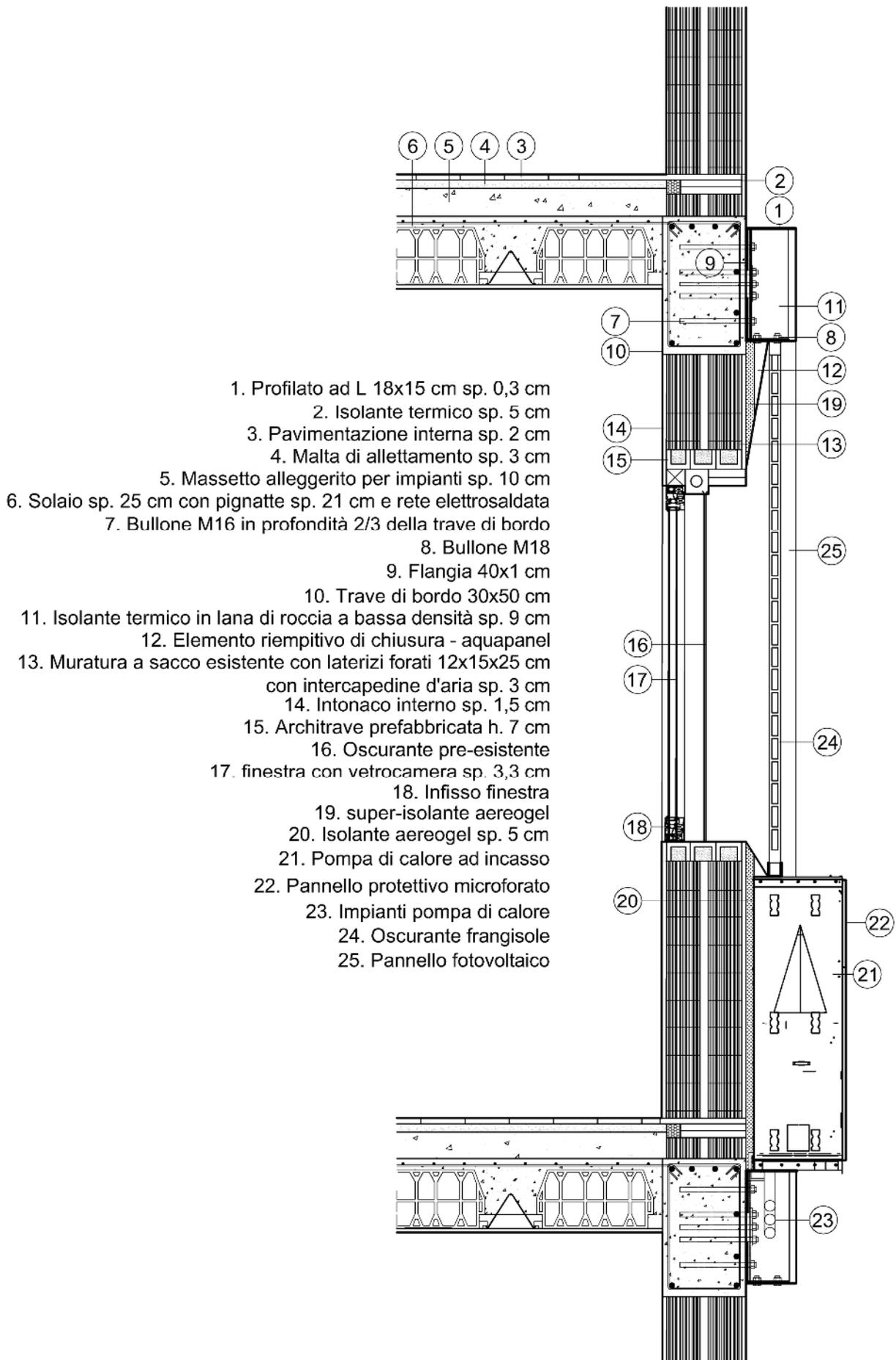


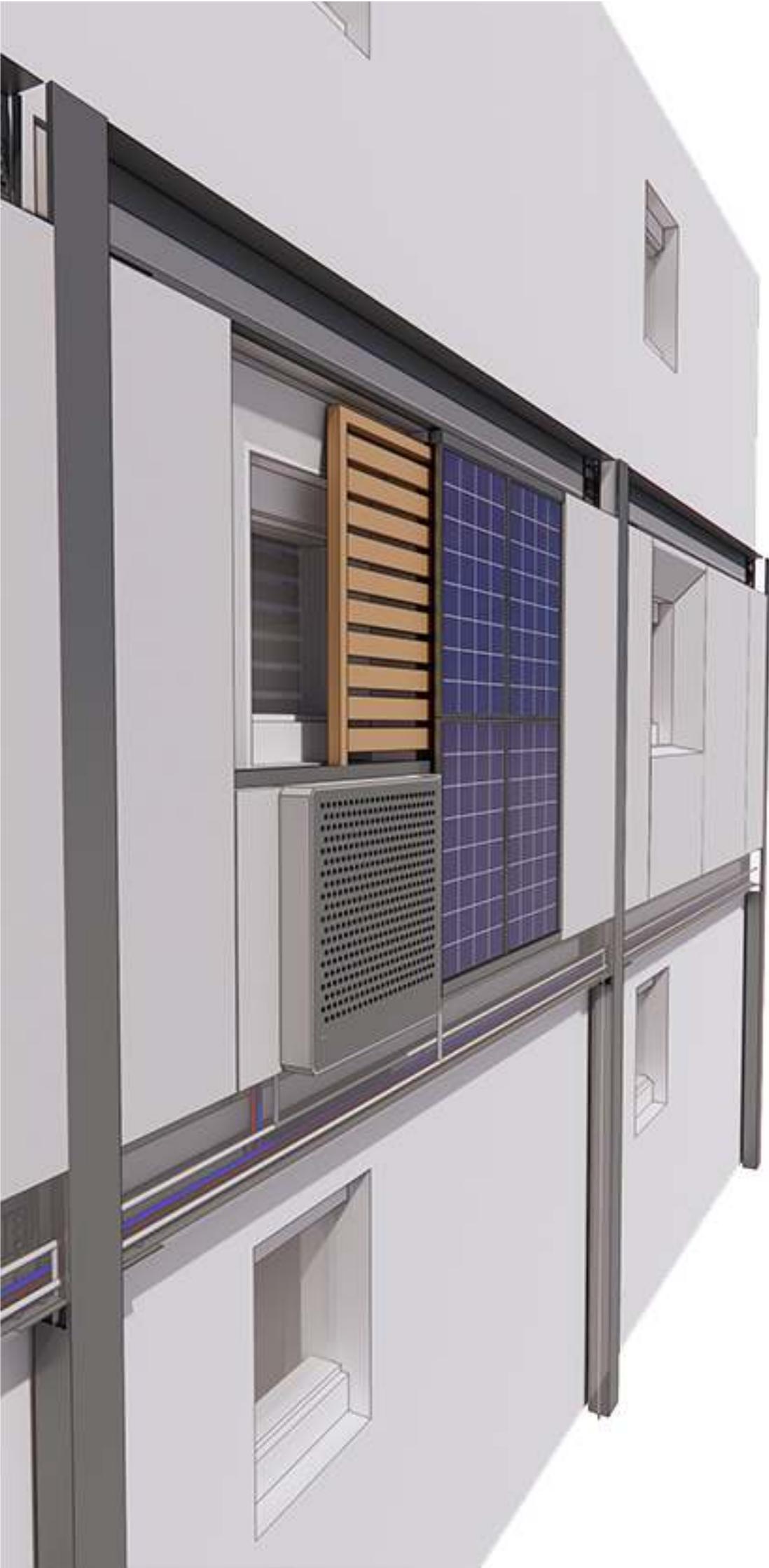
FIGURA 86: QR code di indirizzo a video di montaggio

3.7 Viste e sezioni delle soluzioni

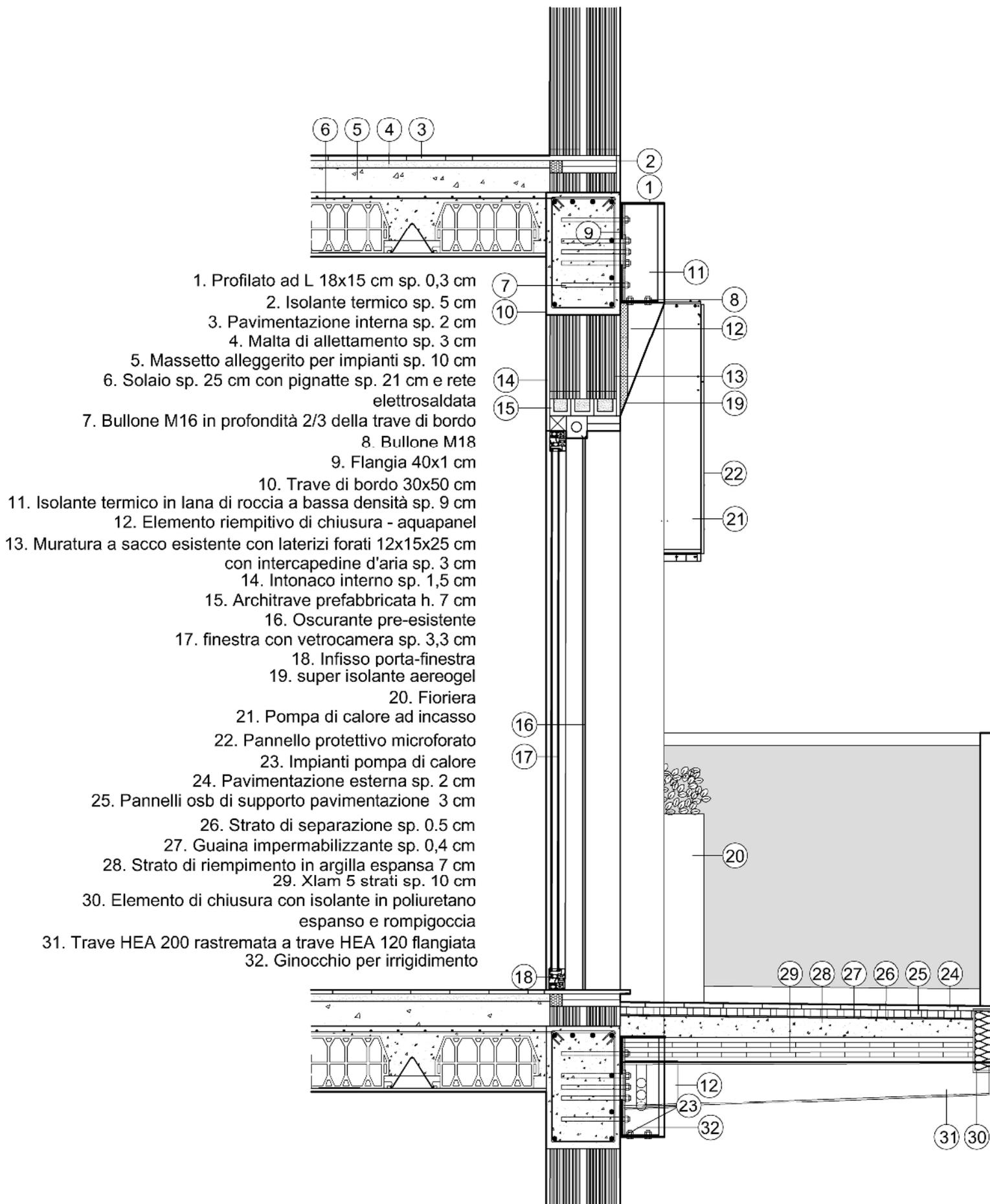
Sono poi state rappresentate tutte le varianti possibili del sistema progettuale, analizzando soluzioni che spaziano dalla configurazione Frame fino alla configurazione Box. Ogni variante è descritta nelle sue specifiche opzioni, includendo l'installazione di una pompa di calore STØNE oppure della pompa di calore 3in1 Mono, e l'integrazione con sistemi di ventilazione meccanica controllata (VMC). Le viste e le sezioni illustrate evidenziano le differenze tecniche e funzionali tra le soluzioni, sottolineando l'ampia flessibilità e modularità offerte dal sistema.

SEZIONE PANEL SCALA 1:20





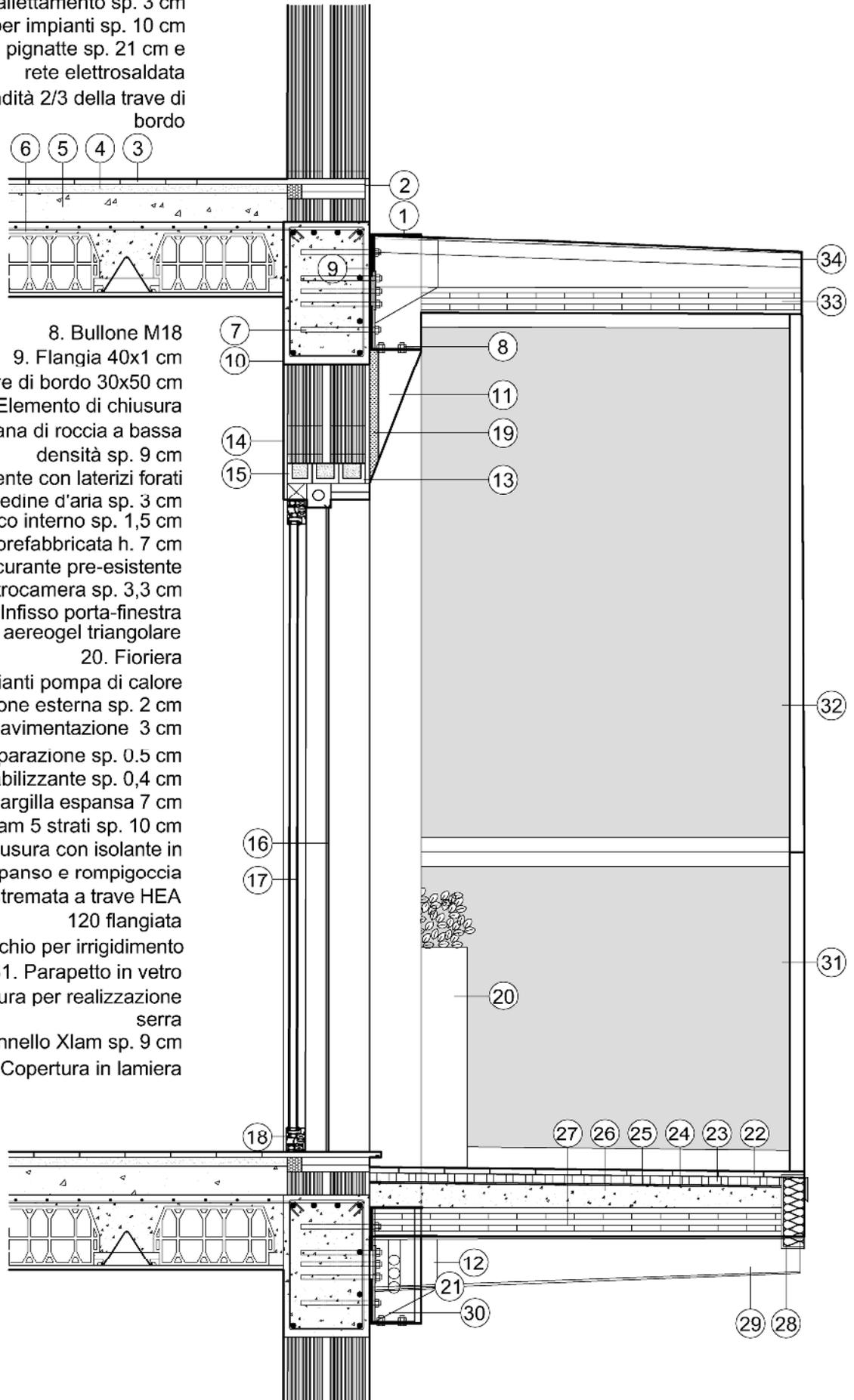
SEZIONE SPACE SCALA 1:20



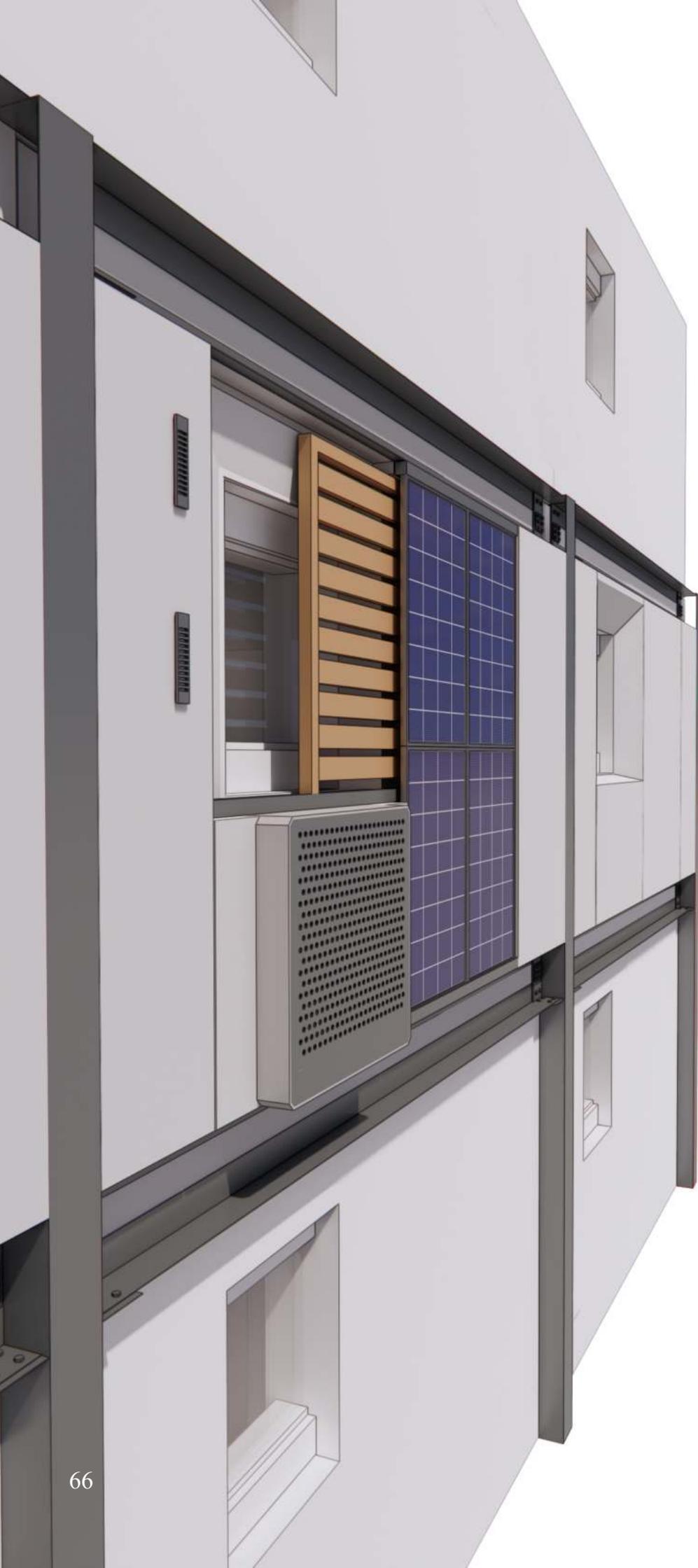


SEZIONE BOX SCALA 1:20

1. Profilato ad L 18x15 cm sp. 0,3 cm
2. Isolante termico sp. 5 cm
3. Pavimentazione interna sp. 2 cm
4. Malta di allettamento sp. 3 cm
5. Massetto alleggerito per impianti sp. 10 cm
6. Solaio sp. 25 cm con pignatte sp. 21 cm e rete elettrosaldata
7. Bullone M16 in profondità 2/3 della trave di bordo
8. Bullone M18
9. Flangia 40x1 cm
10. Trave di bordo 30x50 cm
11. Elemento di chiusura
12. Isolante termico in lana di roccia a bassa densità sp. 9 cm
13. Muratura a sacco esistente con laterizi forati 12x15x25 cm con intercapedine d'aria sp. 3 cm
14. Intonaco interno sp. 1,5 cm
15. Architrave prefabbricata h. 7 cm
16. Oscurante pre-esistente
17. finestra con vetrocamera sp. 3,3 cm
18. Infisso porta-finestra
19. isolante aereogel triangolare
20. Fioriera
21. Impianti pompa di calore
22. Pavimentazione esterna sp. 2 cm
23. Pannelli osb di supporto pavimentazione 3 cm
24. Strato di separazione sp. 0,5 cm
25. Guaina impermeabilizzante sp. 0,4 cm
26. Strato di riempimento in argilla espansa 7 cm
27. Xlam 5 strati sp. 10 cm
28. Elemento di chiusura con isolante in poliuretano espanso e rompigoocia
29. Trave HEA 200 rastremata a trave HEA 120 flangiata
30. Ginocchio per irrigidimento
31. Parapetto in vetro
32. Elemento di chiusura per realizzazione serra
33. Pannello Xlam sp. 9 cm
34. Copertura in lamiera













4. Conclusioni e sviluppi futuri

Il sistema costruttivo proposto si configura come un'alternativa concreta e innovativa per affrontare sfide di riqualificazione edilizia in chiave sostenibile. L'approccio adottato si distingue per la sua modularità delle soluzioni, che garantisce flessibilità nell'applicazione e rapidità di esecuzione, caratteristiche adatte agli edifici in calcestruzzo armato, esclusi da vincoli storici.

Uno dei punti di forza del progetto è la capacità di integrare tecnologie attive e passive, migliorando l'efficienza energetica e riducendo i consumi senza richiedere interventi invasivi. Soluzioni come l'isolamento termico, la pompa di calore e i pannelli fotovoltaici sono state progettate per adattarsi facilmente ad ogni edificio e alle esigenze specifiche degli utenti.

Nonostante i numerosi vantaggi, alcune criticità meritano attenzione. L'applicazione dei moduli prefabbricati richiede una fase preliminare accurata di analisi e rilievo. Errori in questa fase possono compromettere l'intera installazione, rendendo indispensabile l'uso di strumenti di precisione come il laser scanner. Inoltre, in alcuni casi particolari, sarà necessaria la personalizzazione su misura di parti speciali, come ad esempio per edifici con geometrie irregolari o dettagli architettonici unici, potrebbe aumentare i costi e i tempi di intervento rispetto a quanto previsto inizialmente.

L'adozione di tecnologie avanzate richiede inoltre un'adeguata formazione degli operatori e una manutenzione regolare, aspetti che devono essere pianificati fin dalle prime fasi del progetto. Infine, la gestione del ciclo di vita dei materiali utilizzati, inclusa la loro sostenibilità e riciclabilità, rappresenta un campo da approfondire per garantire il pieno rispetto dei principi di economia circolare.

Guardando al futuro, il progetto offre spunti per sviluppi ulteriori. La ricerca futura può quindi concentrarsi sull'ottimizzazione dei materiali, lo studio più approfondito dei sistemi di fissaggio dei pannelli con la trave impiantistica e sull'integrazione di tecnologie intelligenti, come sensori per il monitoraggio dell'efficienza energetica e delle condizioni indoor dell'edificio. Inoltre, si potrebbero esplorare altre soluzioni a favore della riqualificazione energetica e del cambiamento climatico come sistemi per la gestione delle acque meteoriche o facciate verdi.

In sintesi, pur tenendo in considerazione la presenza di alcune sfide operative, il progetto rappresenta un modello replicabile e scalabile per migliorare il patrimonio edilizio esistente. Il suo approccio modulare e tecnologicamente avanzato non solo risponde alle esigenze attuali, ma pone le basi per una continua evoluzione, contribuendo a edifici più sostenibili, efficienti e confortevoli.

5. Bibliografia

- Palladino, D., Pagliaro, F., Del Fatto, V., Lavinia, C., Margiotta, F., & Colasuonno, L. (2019). Stato dell'arte del patrimonio edilizio nazionale e analisi degli Attestati di Prestazione Energetica (APE). Report RdS_PTR_2019_037, ENEA.
- Bertini, I., Federici, A., Pagliaro, F., Labia, N., Cosimi, E., Salvato, M., Nidasio, R., & Panvini, A. (2024). Rapporto annuale sulla certificazione energetica degli edifici. Rapporto curato dal Dipartimento Unità per l'Efficienza Energetica (DUEE) dell'ENEA e dal Comitato Termotecnico Italiano (CTI).
- Dalalbashi, A., Pinto, J., Reis, C., Pimenta, F., Oliveira Ferreira, N., & Bento Pereira, N. (2024). A proposal for an alternative structural modular solution.
- Di Lorenzo, G., Tartaglia, R., Prota, A., & Landolfo, R. (2023). Design procedure for orthogonal steel exoskeleton structures for seismic strengthening.
- Bazarchi, E., Davaran, A., Lamarche, C. P., Roy, N., & Parent, S. (2023). Experimental and numerical investigation of a novel vertically unconstrained steel inter-modular connection.
- De Medici, S. (2021). Italian Architectural Heritage and Photovoltaic Systems. Matching Style with Sustainability.
- Nahmens, I., & Ikuma, L. H. (2011). Effects of lean construction on sustainability of modular homebuilding.
- Aparicio-Gonzalez, E., Domingo-Irigoyen, S., & Sánchez-Ostiz, A. (2020). Rooftop extension as a solution to reach nZEB in building renovation.
- Passoni, C., Marini, A., Belleri, A., & Menna, C. (2021). Redefining the concept of sustainable renovation of buildings: State of the art and an LCT-based design framework.
- Brambilla, A., Salvalai, G., Imperadori, M., & Sesana, M. M. (2018). Nearly zero energy building renovation: From energy efficiency to environmental efficiency, a pilot case study.
- Mazzoli, C., Corticelli, R., Dragonetti, L., Ferrante, A., Van Oorschot, J., & Ritzen, M. (2022). Assessing and developing circular deep renovation interventions towards decarbonisation: The Italian pilot case of "Corte Palazzo" in Argelato.
- Gieri, V. (2006). Analisi dei prezzi unitari in edilizia. Maggioli Editore.

- Katsigiannis, E., Gerogiannis, P. A., Atsonios, I., Bonou, A., Mandilaras, I., Georgi, A., & Founti, M. (2024). Energy assessment of a residential building renovated with a novel prefabricated envelope integrating HVAC components.
- Bergmans, I. J. B., Bhochhibhoya, S., & Van Oorschot, J. A. W. H. (2023). Assessing the circular redesign of prefabricated building envelope elements for carbon neutral renovation. *Journal of Facade Design & Engineering*
- Kudrenickis, I., Ernsteins, R., Biezina, L., & Ikstena, R. (2024). Energy efficient renovation of multi-apartment buildings: Management, economic and engineering aspects.
- Lim, Y.-W., Ling, P. C. H., Tan, C. S., Chong, H. Y., & Thurairajah, A. (2022). Planning and coordination of modular construction.
- Glawe, D. (2016). Quality of condensate from air-handling units. *ASHRAE Journal*
- Dhamodharan, P., Kannappan Ayalur, B., Prabakaran, R., Santhosh Kumar, A., Sang Choi, G., & Chul Kim, S. (2023). Current state of research in air-conditioning condensate utilization and challenges: A review approach.
- Algarni, S., Saleel, C. A., & Abdul Mujeebu, M. (2018). Air-conditioning condensate recovery and applications—Current developments and challenges ahead. *Sustainable Cities and Society*
- Aparicio-Gonzalez, E., Domingo-Irigoyen, S., & Sánchez-Ostiz, A. (2020). Rooftop extension as a solution to reach nZEB in building renovation: Application through typology classification at a neighborhood level.
- Grosso, L. (2006). *Tempario per opere edili civili: Nuove costruzioni, manutenzione e ristrutturazione*. Il Sole 24 Ore.
- Bioarchitettura-Istituto Nazionale (a cura di). (2006). *Aggiornamento ecologico: Prezzario opere edili*. Provincia di Firenze, Assessorato all'Edilizia. Gruppo Mancosu Editore.
- Bragadin, M. A., Guardigli, L., Calistri, M., & Ferrante, A. (2023). Demolishing or renovating? Life cycle analysis in the design process for building renovation: The ProGETonE case.

6. Sitografia

- www.istat.it
- www.enea.it
- www.consilium.europa.eu
- www.biblus.acca.it
- www.spazioerre.it
- www.ecogruppoitalia.it
- www.europarl.europa.eu
- www.infobuildenergia.it
- www.reco2st.eu
- www.plural-renovation.eu
- www.infobuild.it
- www.drive0.eu
- www.esafe-buildings.eu
- www.progetone.eu
- www.xlamdolomiti.it
- www.innovaenergie.com
- www.thesan.com