

Investimenti a favore della crescita e
dell'occupazione FESR 2014-2020

Investitionen in Wachstum und Beschäftigung
EFRE 2014-2020

FESR LEGNATIVO

REPORT Milestone 3.2 Catalogo del sistema di facciata

Partner | Projektpartner

eurac
research

 **Fraunhofer**
ITALIA

ATRIUM

Contatto | Kontakte: Riccardo Pinotti || riccardo.pinotti@eurac.edu

Contatto | Kontakte: Roberto Lollini || roberto.lollini@eurac.edu

1. Contents

2.	Analisi di mercato di interventi con strutture prefabbricate in legno per la riqualificazione degli edifici	2
1.	Descrizione dei progetti analizzati	2
	GAP – Banks on Sustainable Rehabilitation	3
	TES - Energy Facade project	4
	Energiesprong FR – Net Zero Energy Housing	7
	iNSPiRe – Systemic Energy Renovation of Buildings	8
	More-Connect – Renovation package concepts for buildings retrofit	9
	Ri.Fa.Re – Tecnologie per ristrutturazioni compatibili con il contesto italiano	10
	Sinfonia – Low Carbon Cities for Better Living	12
	P2Endure – Plug and Play Building Renovation	13
	4RinEU – Reliable models for deep renovation	16
	Reno Zeb – Renovation for Zero Energy Buildings	20
2.	Risultati Progetti di Ricerca	21
	Modularità Pannelli	24
	Performance energetiche e valutazione dei costi	25
	Sistemi di aggancio	27
	Struttura del pannello	33
3.	Definizione del sistema LegnAttivo	38
3.	Definizione della struttura del pannello	38
4.	Definizione della morfologia del pannello	39
5.	Sistemi di integrazione impiantistica	43

Non è stata trovata alcuna voce d'indice.

2. Analisi di mercato di interventi con strutture prefabbricate in legno per la riqualificazione degli edifici

2.1. Descrizione dei progetti analizzati

L'analisi di mercato include una serie di progetti rappresentativi del panorama attuale sull'utilizzo di facciate prefabbricate industrializzate e multifunzionali per il risanamento degli edifici esistenti.

I progetti analizzati nello specifico sono dieci, per ognuno dei quali è stato selezionato un caso studio scelto come rappresentativo e approfondito con maggior dettaglio. Di seguito una tabella riepilogativa che identifica gli esempi presi in analisi.

Progetto	Caso studio analizzato
GAP solution	Dieselweg residential area, Graz, Austria
TES energy facade	Student Housing, Oulu, Finlandia
Energiesprong FR	Hem residential area, Francia
iNSPiRe	Residential area a Ludwigsburg, Germania
More-Connect	Akadeemia tee 5A, Estonia
Ri.Fa.Re	Holzkirchen, Germania - <i>mock up</i>
Sinfonia	Residential building, Passeggiata dei Castani, Bolzano (IT)
P2Endure	Residential building, Milano, Italia
4RinEU	Residential building, Oslo, Norvegia
Reno Zeb	KUBIK test infrastructure, Bilbao, Spagna

Tabella 1: Progetti di Ricerca facciate prefabbricate per il retrofit

Come denota la figura sottostante, i progetti studiati prendono forma a partire dagli anni 2000 per poi intensificarsi nei 15 anni successivi, localizzandosi principalmente nel nord Europa e in Spagna. Gli interventi si pongono come sfide multidisciplinari caratterizzati da un certo grado di industrializzazione. Tutti questi interventi sono accomunati da alcune caratteristiche relative, ad esempio, alla loro replicabilità (sia tecnica che economica), alla presenza di nuove tecnologie di smart control e alla possibilità di rendere l'intervento meno intrusivo rispetto ai risanamenti tradizionali grazie all'industrializzazione del processo.

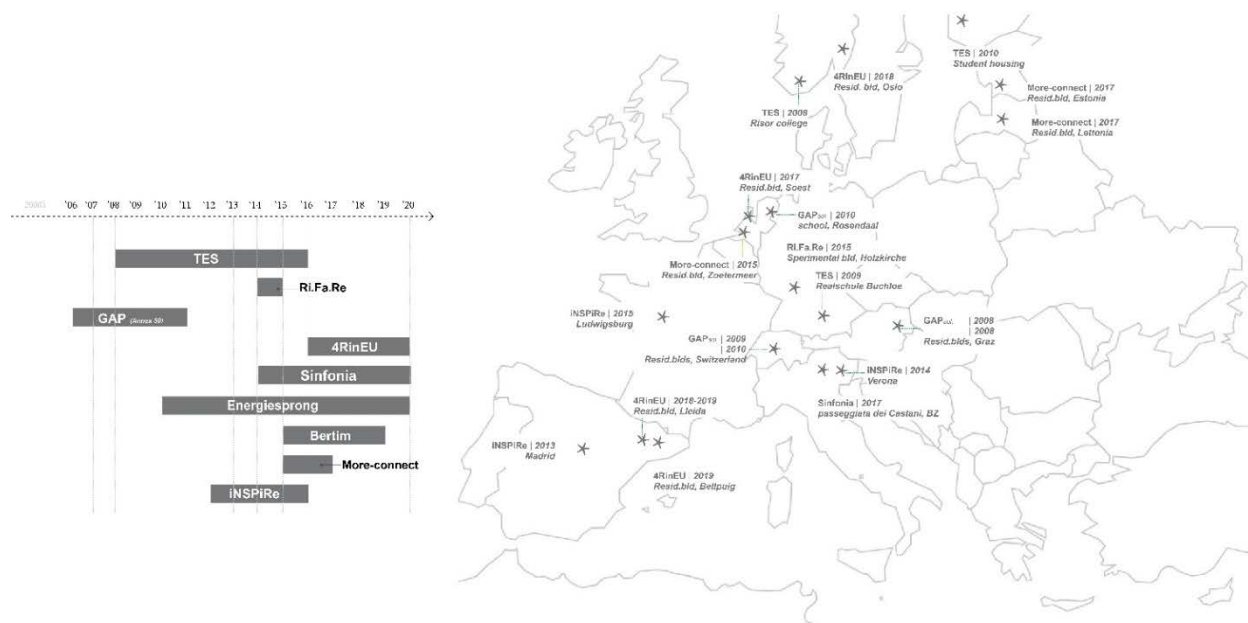


Figura 1 :Panoramica di alcuni dei progetti citati

Nei paragrafi successivi verrà riportata un’analisi dei progetti citati.

GAP – Banks on Sustainable Rehabilitation



Figura 2 GAP solution, edificio a Dieselweg. Fonte: AEE INTEC

Le soluzioni di facciata GAP prevedono l’utilizzo un pannello a nido d’ape che cattura i raggi solari evitando le perdite di calore ed eliminando i ponti termici. In inverno la bassa inclinazione dei raggi solari penetra

all'interno e permette al caldo di immagazzinarsi, d'estate la gran parte della radiazione viene riflessa creando un ricircolo d'aria che mantiene raffrescato il sistema. Sono state attivate diverse applicazioni, quella approfondita si trova nella zona residenziale di Dieselweg a Graz, in Austria.

TES - Energy Facade project



Figura 3 Montaggio di una parete. Fonte: TES Energy Façade

TES EnergyFacade ha definito i principi di base per l'ammmodernamento energetico degli involucri edilizi residenziali utilizzando elementi prefabbricati di grandi dimensioni in legno, applicati successivamente in tutta Europa. Si tratta di un sistema caratterizzato da molteplici configurazioni (sia strutturali che impiantistiche) facilmente adattabili alla facciata esistente. Il progetto è caratterizzato da un controllo digitalizzato dell'intero processo, dalle misurazioni, alla pianificazione, prefabbricazione e montaggio in opera.

L'elemento TES di base è autoportante e consiste in un nucleo strutturale analogo a una costruzione a telaio in legno. Le cavità sono riempite di isolamento. La parte anteriore (e opzionalmente quella posteriore) è rivestita con strati funzionali. La finestra esistente viene sostituita da una nuova finestra integrata nel modulo facciata. L'intercapedine tra l'elemento TES e il muro è riempita con fibra di cellulosa soffiata sul posto. Le dimensioni massime degli elementi di facciata sono $3,8 \times 12 \text{ m}$ con un peso massimo di 3 ton .

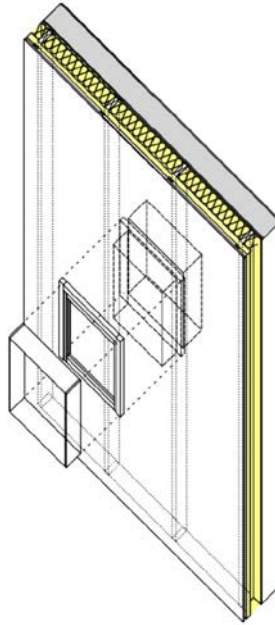


Figura 4: Modulo di facciata_TES

Sono stati individuate vari sistemi di sollevamento come:

- Gru per camion (piccola),
- Gru mobile (peso dell'elemento e raggio di lavoro del braccio),
- Gru da cantiere (peso e raggio di lavoro),
- Altri (sollevatore a forcella telescopico, dispositivi speciali -> come O.LUX "cross bar").

Il manuale di costruzione del progetto TES indica alcune possibilità di aggancio dei pannelli, nello specifico:

- Sistemi con pannellature appese, in cui i carichi verticali sono portati principalmente dall'apice dell'edificio.
- Sistemi con pannellature agganciate, dove i carichi verticali sono portati dalla testa del solaio o dalla muratura
- Sistemi autoportanti o appoggiati, in cui i carichi verticali sono scaricati principalmente a terra e sulla fondazione

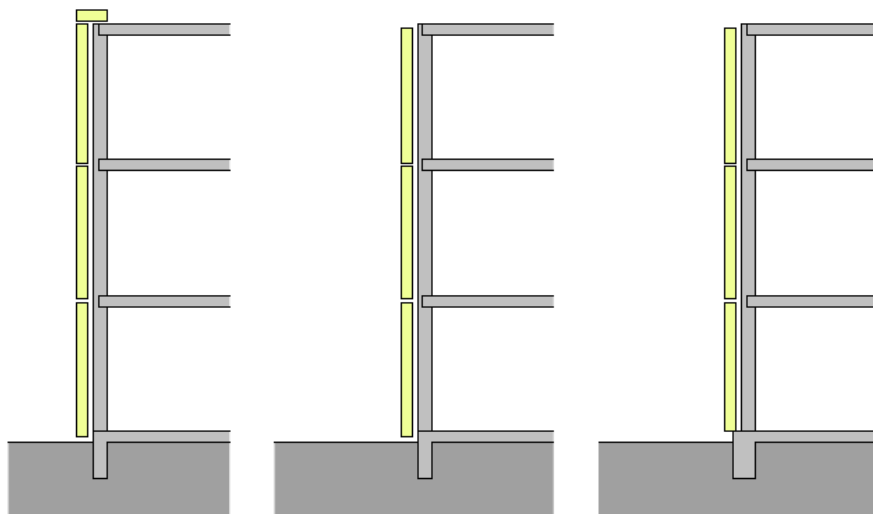


Figura 5: Sistemi di aggancio. Fonte: TES system manual

La scelta dipende principalmente dal sistema strutturale preesistente e dalla possibilità di agganciare le nuove pannellature valutando il peso e le dimensioni del pannello, l'eventuale passo disponibile e le condizioni di conservazione dello stato di fatto. Nella maggior parte dei casi si prevede l'utilizzo di staffature metalliche, direttamente collegate alla struttura esistente o per mezzo di morali in legno posti in corrispondenza del solaio, che ospiteranno successivamente i pannelli. Oltre alle schematizzazioni riportate il manuale di TES offre alcuni spunti progettuali da applicare sui nodi tra il solaio e la parete esterna.

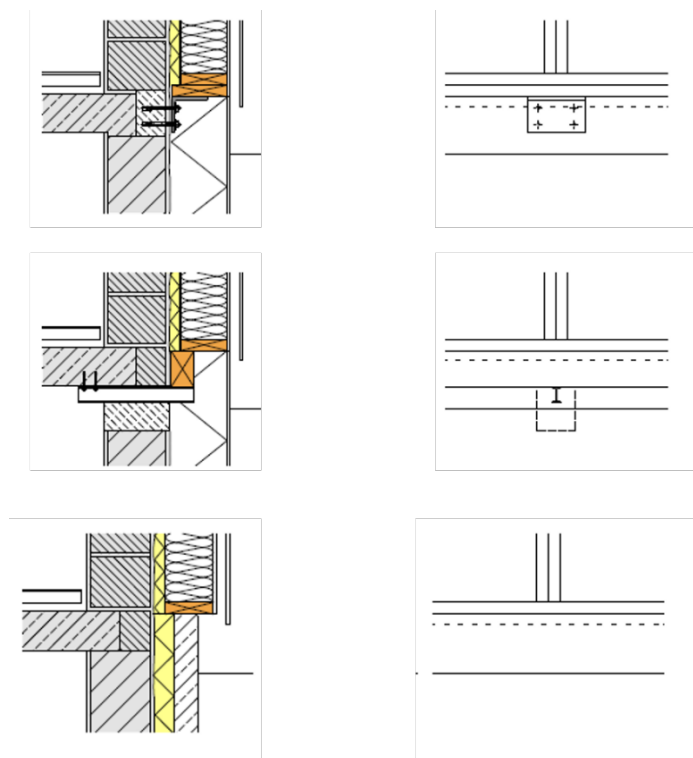


Figura 6: Nodi costruttivi tra il solaio e i nuovi pannelli. Fonte: TES system manual

La prima soluzione partendo dall'alto prevede una staffa ad L con davanzale ed eventuale sostituzione di strato di mattoni in corrispondenza dei punti di aggancio. Questa rappresenta la soluzione più utilizzata e meno invasiva rispetto a quella sottostante, in cui si prevede l'inserimento di una trave a sbalzo IPE con fissaggio al solaio. L'ultima immagine rappresenta l'attacco con la fondazione, rialzata per evitare fenomeni di risalita di umidità. Tra la struttura esistente e l'esterno viene inserito uno strato di isolamento (solitamente XPS o EPS) per proteggere la parte inferiore dell'edificio e conferire.

Energiesprong FR – Net Zero Energy Housing



Figura 7 Prefabbricazione della parete in officina. Fonte: NWeurope.eu

Energiesprong è un nuovo standard di ristrutturazione nato nei Paesi Bassi per massificare le ristrutturazioni energetiche ad alte prestazioni, a partire dal parco edilizio delle social housing. Nell'ambito del progetto E=0, finanziato da Interreg Nord-Ovest Europa, Vilogia, un'associazione di edilizia sociale, ha testato l'approccio EnergieSprong per la prima volta in Francia su 10 case singole a Hem, per dimostrare la replicabilità del progetto. Il caso studio analizzato è un complesso di tipiche abitazioni in mattoni del nord Europa a due piani costruite nel 1952.

Il progetto a riguardato la realizzazione di una facciata prefabbricata esterna di spessore pari a 40 cm, costituita da un telaio in legno. Il rivestimento esterno simula quello esistente per rispettare i vincoli locali; non è presente nessun isolamento tra la nuova facciata e la struttura principale. Tuttavia, le finestre sono state inglobate nel pannello e rimosse quelle esistenti. Il sistema di aggancio è realizzato con una staffa metallica (Figura 8).

Inoltre, nella facciata è stato integrato un modulo energetico che raccoglie calore, acqua calda, sistemi di ventilazione e raffreddamento per facilitare la manutenzione. Sono state utilizzate gru per il sollevamento del nuovo pannello prefabbricato e impalcature per l'installazione. È stata installata una ventilazione a doppio flusso che consente un riscaldamento uniforme durante l'inverno e una abitazione più fresca nei

periodi di caldo. Si sono previsti pannelli solari sui tetti per fornire energia. È stato installato un dispositivo di monitoraggio per consentire agli inquilini di seguire i propri consumi energetici.



Figura 8: Ancoraggio (sx) e installazione (dx) moduli di facciata (Fonte: renovation-hub.eu)

iNSPire – Systemic Energy Renovation of Buildings



Figura 9 Parete prefabbricata in officina. Fonte: Gumpp & Maier GmbH

L'obiettivo del progetto è quello di affrontare il problema degli edifici energivori con un sistema ad alta prefabbricazione applicabile agli edifici residenziali e terziari. Uno degli aspetti principali è lo sviluppo di kit multifunzionali che si avvalgono di tecnologie innovative per l'involucro, produzione di energia (compresa l'integrazione delle FER) e i relativi sistemi di distribuzione. Questi kit offrono la possibilità di integrare diversi sistemi come la ventilazione meccanica (MVHR), pannelli solari, micro-pompe di calore, condotti, collettori.

More-Connect – Renovation package concepts for buildings retrofit



Figura 10 Installazione della parete in cantiere. Fonte: More-Connect

La sfida del progetto More-Connect è di combinare innovazione di prodotto, innovazione di processo con un approccio innovativo al mercato, attraverso un processo di ottimizzazione dei costi e della qualità. È stato adottato un sistema di connessione intelligente “Plug&Play” e reso possibile il monitoraggio tramite un insieme di sensoristica e controllo wireless. Il caso studio analizzato uno dei cinque geo-cluster sviluppati in Europa, l’Akadeemia tee 5A in Estonia.

Il caso studio rappresenta un tipico edificio degli anni Novanta in Estonia di appartamenti multipiano con grandi pannelli in calcestruzzo prefabbricati. Questi edifici sono caratterizzati da basse performance termiche, infatti c’è crescita di muffa, alto consumo di energia, ventilazione insufficiente ed innumerevoli ponti termici.

In generale, la soluzione del progetto More-Connect implica l’uso di pannelli prefabbricati leggeri, installati sull’involucro esistente senza demolire gli elementi presenti. Gli spazi abitativi sono stati ampliati grazie alla chiusura dei balconi con gli stessi pannelli modulari e l’aggiunta di vetrate. I moduli autoportanti sono stati appesi alla superficie del muro esistente con l’aiuto di ancoraggi metallici (Figura 11). Come strato di riempimento per correggere le irregolarità e la ruvidità della superficie esistente è stato pianificato di aggiungere 10-50 *mm* di lana minerale leggera.

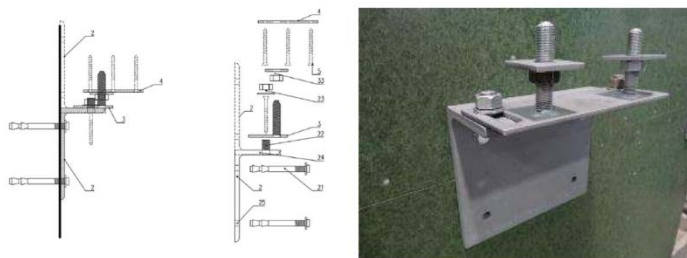


Figura 11: Ancoraggi More Connect

Ri.Fa.Re – Tecnologie per ristrutturazioni compatibili con il contesto italiano

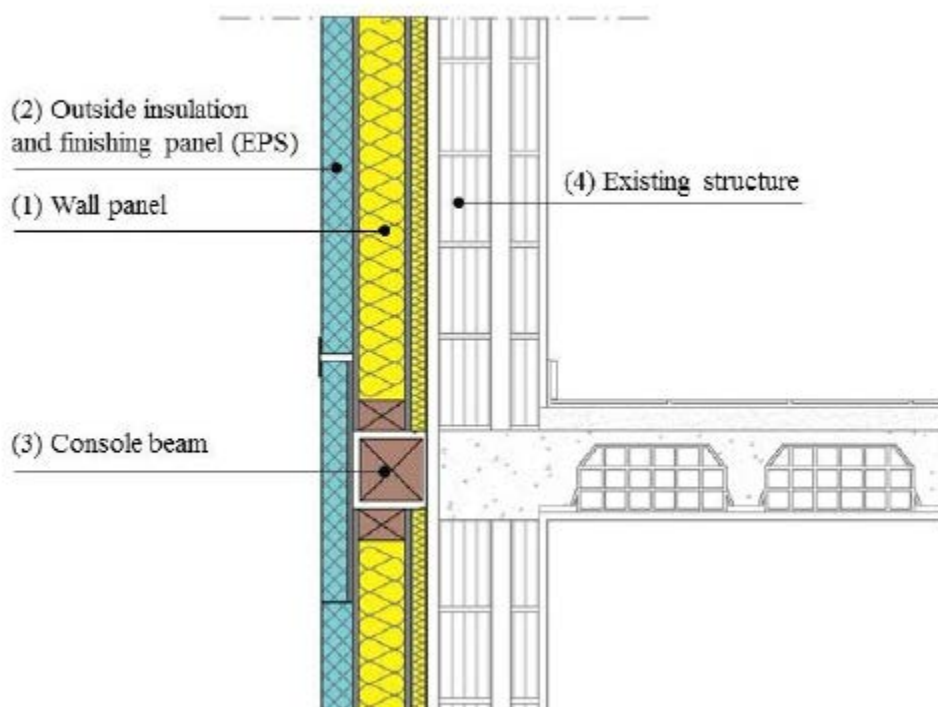


Figura 12 Particolare costruttivo della struttura. Fonte: Malacarne G., et al, 2016

Ri.Fa.Re (ristrutturare con facciate pRefabbricate) è un pannello prefabbricato in legno per la ristrutturazione energetica delle facciate degli edifici esistenti. Il parco edilizio di riferimento è quello altoatesino, all'interno del quale sono stati identificati tre edifici di riferimento: “piccola”, “media” e “grande” struttura.

I risultati del progetto Ri.Fa.Re sono legati a un approccio che si articola in tre fasi:

- soluzione a base di legno
- Algoritmo parametrico
- Processo

Questo progetto non si basa su un approccio casistico, mira a sviluppare una soluzione prefabbricata standardizzata, ma personalizzabile. Attraverso una progettazione parametrica, le caratteristiche generali

dei moduli prefabbricati possono essere adattate alle caratteristiche specifiche degli edifici, volta per volta.

In questo progetto per la prima volta ci si concentra sulla caratterizzazione del patrimonio edilizio altoatesino. La selezione degli edifici si basa su due parametri principali: consumo energetico e dimensione delle abitazioni.

Edifici si possono dividere in tre categorie:

- Piccolo edificio di riferimento: situato in aree residenziali lontane da centro città. Non è alto (max 3 piani e ha esenzione orizzontale,
- Edificio di riferimento medio: tipico di zone residenziali di città italiane medio-piccole. Valore della superficie di riscaldamento è simile al piccolo edificio di riferimento, ma ha un'estensione verticale (5-6piani)
- Grande edificio di riferimento: tipico delle periferie delle città, dove la densità di popolazione è alta. Ha più di 6 piani, abitato da più di 100 persone.

I pannelli sono posizionati su travi a mensola direttamente ancorate alla struttura principale in calcestruzzo dell'edificio esistente per trasferire i carichi verticali dei pannelli alla struttura esistente. Mentre i carichi orizzontali vengono trasferiti mediante profili in acciaio a forma di L. incremento del carico alla struttura esistente massimo del 10%.

I pannelli possono avere misure personalizzabili da 1.2 m a 12 m come lunghezza e da 1.20 m a 3.3 m altezza. Possono includere finiture esterne come intonaco e facciata di ventilazione. Sono presenti due strati isolanti, uno tra la struttura esistente e il pannello di 14 cm e il secondo all'esterno come supporto di finitura (dai 2 cm ai 10 cm di spessore). La connessione tra i pannelli è fatta mediante un nastro di riempimento in espansione. Le finestre e dispositivi di ombreggiatura installati direttamente sul pannello.

L'installazione è stata effettuata mediante gru, con tempi di installazione da 11 a 44 giorni in base alla superficie di riscaldamento.

Piccolo edificio di riferimento: superficie di riscaldamento 1000m²

- tradizionale 37 giorni
- Ri.Fa.Re 11 giorni
- Risparmio in tempo 70%
- Aumento del costo 12%

Medio edificio di riferimento: superficie di riscaldamento 1200m²

- tradizionale 44 giorni
- Ri.Fa.Re 17 giorni
- Risparmio in tempo 60%
- Aumento del costo 20%

Grande edificio di riferimento: superficie di riscaldamento 3300m²

- tradizionale 100 giorni
- Ri.Fa.Re 44 giorni
- Risparmio in tempo 56%
- Aumento del costo 28%

Si è osservato che il costo aumenta dal piccolo edificio al grande da 12% al 28%. Più è alto l'edificio da ristrutturare e più aumentano i costi per il sollevamento (questo è il motivo per cui il costo di edifici piccoli aumento solo del 12% mentre per gli edifici grandi del 28%).

Inoltre, in termini economici e di rischio è facile gestire installazione della soluzione in legno in un edificio di 3-4 piani, mentre per un edificio di 8 piani è molto rischioso, poiché gli operai devono lavorare in una piattaforma a 30 m dal piano terra e maneggiare pannelli di 12 m di lunghezza.

Sinfonia – Low Carbon Cities for Better Living



Figura 13 Intervento effettuato a Passeggiata dei Castani. Fonte: M.Benedikter

Nell'ambito del progetto Sinfonia, co-finanziato dall'Unione Europea di cui Bolzano è con Innsbruck città-pilota, sono stati programmati una serie di interventi per il risanamento ed efficientamento energetico di edifici di edilizia sociale per il contenimento dei consumi energetici e il miglioramento del comfort

abitativo. Il sistema è stato applicato su cinque casi studio a Bolzano, compreso quello analizzato, situato in via Passeggiata dei Castani.

Il sistema di ancoraggio è di tipo puntuale e realizzato con staffa metallica.



Figura 14: Ancoraggio_ Sinfonia

P2Endure – Plug and Play Building Renovation

Nel progetto di ricerca P2Endure è stata introdotta una soluzione innovativa per la riqualificazione dell'involucro tramite l'uso di pannelli prefabbricati con alte prestazioni sia dal punto di vista strutturale che energetico.



Figura 15: Demo Italiano Pre e Post Retrofit (Fonte: www.p2endure-project.eu)

I pannelli scelti sono composti da un'anima in EPS dello spessore di 100 mm accoppiati a due strati esterni di calcestruzzo fibrorinforzato con fibre polimeriche (Textile Reinforced Concrete TRC) dello spessore di 12,5 mm. Tale sistema è caratterizzato da un'ottima resistenza a compressione e un'alta resistenza a trazione.

Il pannello è stato realizzato mediante un getto verticale in pressione di calcestruzzo. Inoltre, attraverso l'uso di pigmenti mescolati, è stato possibile ottenere diverse colorazioni.

La configurazione del progetto esecutivo è composta in totale da 186 pannelli suddivisi in 28 tipologie diverse per dimensione, colore e texture di finitura (Brumana, et al., 2018). Durante lo studio del pannello sono stati studiati i punti critici della progettazione della facciata; in particolar modo la scelta dei giunti tra i pannelli e le interfacce con finestre e balconi. Di conseguenza sono stati messi in luce alcuni requisiti da soddisfare:

- possibilità di sostituire i pannelli danneggiati o altri elementi di facciata;
- garantire la tenuta all'aria dell'involucro in connessione con la facciata esistente;
- garantire le tolleranze necessarie per l'assemblaggio e il movimento dei vari elementi che costituiscono la facciata.

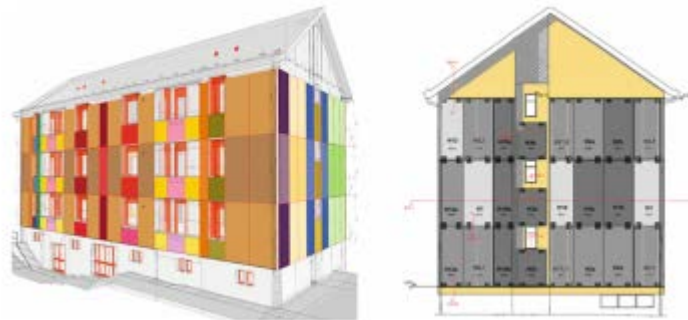


Figura 16: Configurazione Pannelli P2Endure

La criticità dei giunti è stata risolta combinando due prodotti: un cordone di tamponamento in polietilene accoppiato ad un sigillante siliconico acrilico a basso modulo elastico.

Successivamente è stata fatta un'analisi agli elementi finiti per valutare il flusso di calore che è risultato essenzialmente monodirezionale, ciò indica buone prestazioni termiche.

I pannelli sono stati fissati esternamente alla facciata esistente attraverso quattro connessioni puntuali a pannello, per un totale di 492 ancoraggi in acciaio inossidabile di diversa dimensione e tipologia, regolabili nelle tre direzioni spaziali. L'intercapedine tra pannello e muratura esistente, dalla geometria variabile in funzione del fuori piombo della parete esistente, è stata trattata per funzionare come camera d'aria e quindi come un ulteriore strato resistivo. A tale scopo, essa è stata sigillata sul perimetro attraverso schiume poliuretatiche autoespandenti combinate con nastri di tenuta all'aria.

L'installazione ha previsto una prima fase di posizionamento degli ancoraggi, come in Figura 17. A partire dal progetto esecutivo e dal modello 3D stato possibile determinare la posizione esatta di ogni elemento.



Figura 17: Ancoraggi (Fonte: P2Endure)

In una fase successiva è stato possibile posizionare i pannelli sollevati con autogrù e un operatore collocato su una piattaforma aerea mobile (Figura 18). Solo in una fase finale è stata eseguita la sigillatura dell'intercapedine tra parete esistente e pannello, anche questa condotta attraverso piattaforma mobile.



Figura 18: Installazione Pannelli (Fonte: P2Endure)

4RinEU – Reliable models for deep renovation



Figura 19 Installazione delle pareti ad Oslo. Fonte: 4RinEu

Sistema di facciata multifunzionale sulla stessa linea di TES EnergyFacade e iNSPiRe, nei quali la facciata modulare e i diversi componenti sono integrati nel processo industriale. Il sistema è realizzato in materiali sostenibili e riciclabili, garantendo bassi costi di smaltimento e la scelta della produzione dei pannelli a breve distanza dal sito di installazione dell'intervento.

Una delle prime caratteristiche analizzate è legata alla struttura dei pannelli, per la maggior parte strutture a telaio in legno con isolamento interposto ed irrigidito da uno o più strati esterni. Di seguito è riportata una tipica stratigrafia del nuovo intervento nell'interfaccia con l'esistente. Lo strato isolante principale si trova all'interno della struttura, potrebbe essere lana minerale o fibra di legno, ulteriori pannellature si ritrovano negli strati successivi fino alla rifinitura, che prevede in genere la scelta della facciata ventilata volta a favorire l'alleggerimento dell'intero sistema.

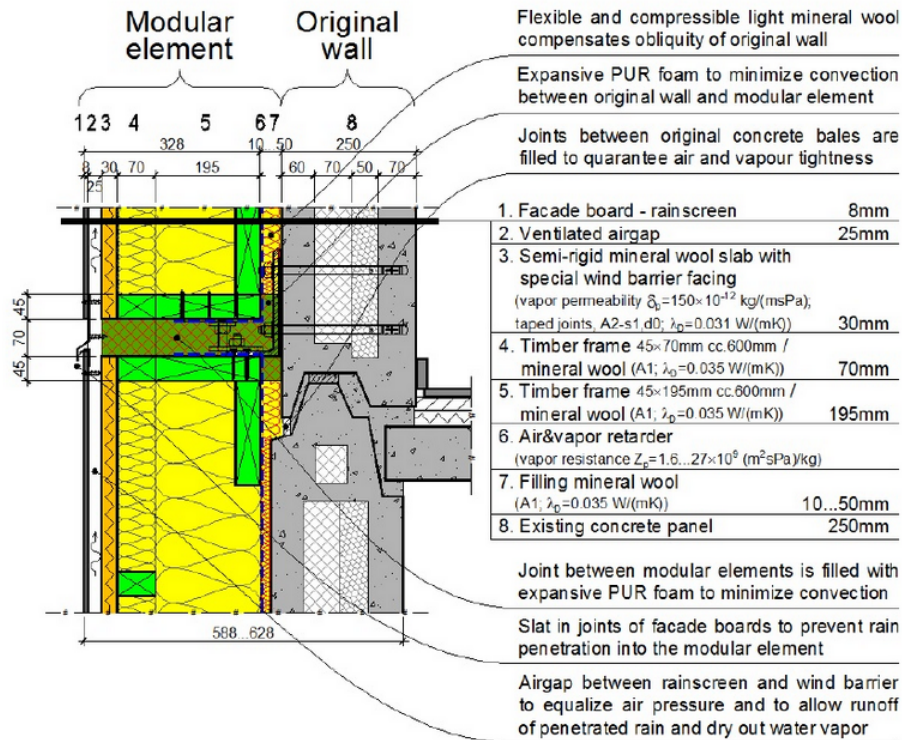


Figura 20 Interfaccia tra nuovo intervento ed esistente. Fonte: buildup.eu

Tra il sistema appena descritto e la muratura esistente viene inserito uno strato di adattamento costituito da isolamento a bassa densità e di conseguenza comprimibile, in alcuni casi è posizionato sul pannello in officina, in altri montati direttamente in sito. Questa superficie viene solitamente utilizzata per eliminare potenziali problemi di irregolarità della superficie esistente e ridurre l'insorgere di condensa tra gli strati interni.

In alcuni casi il rivestimento esistente rimane in opera (come è accaduto nel demo case del progetto 4RinEU ad Oslo), e i pannelli esistenti sovrapposti ed esso, in altri totalmente o parzialmente rimosso, di solito a causa della presenza di danneggiamenti o marcescenze.



Figura 21: Installazione dei pannelli, a sinistra il progetto More-Connect, a destra 4RinEU. Fonti: more-connect e 4RinEU

I moduli di facciata sono stati ancorati alla struttura portante in modo tale da garantire un vincolo alle traslazioni orizzontali e verticali alla base e solo alla traslazione orizzontale lungo l'altezza dell'elemento, tenendo conto delle azioni di sisma e vento a cui è soggetto il pannello.

Per fissare i moduli di facciata prefabbricati si sono utilizzate travi in legno, quest'ultime fissate in corrispondenza della soletta, ancorate con viti per il calcestruzzo o con ancoraggi a cuneo (Figura 22). Successivamente gli elementi sono avvitati alle travi con viti per il legno, come riportato in Figura 23.

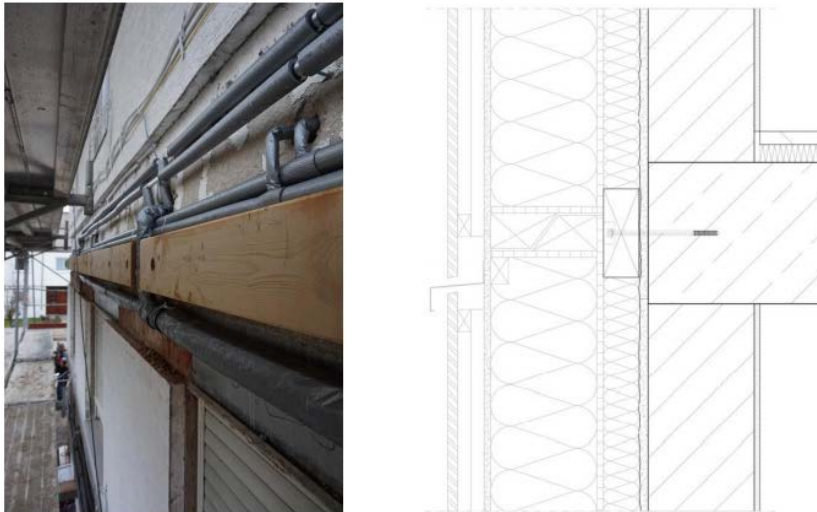


Figura 22: Trave di ancoraggio in legno

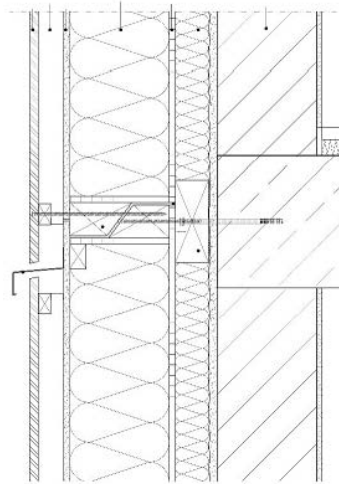


Figura 23: Fissaggio degli elementi nella trave di ancoraggio

Nel caso di edifici molto alti può essere necessario utilizzare in altro sistema di ancoraggio con staffe in acciaio, come riportano in Figura 24.

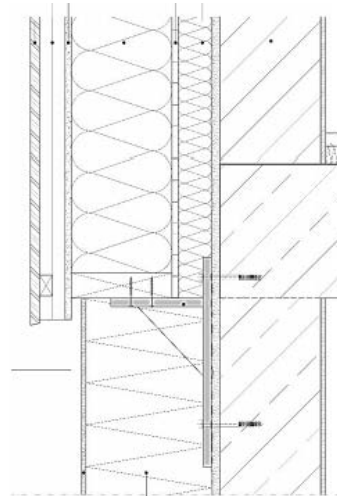


Figura 24: Ancoraggio di base in acciaio

Nel caso in cui la struttura esistente non sia in grado di sopportare i carichi aggiunti dal PTMF, può essere aggiunta una nuova fondazione all'edificio esistente.

Reno Zeb – Renovation for Zero Energy Buildings



Figura 25: Installazione moduli di facciata (Fonte: www.renozeb.eu)

BERTIM propone un approccio olistico di ristrutturazione energetica degli edifici che comprende moduli prefabbricati in legno per la ristrutturazione di edifici supportati da uno strumento digitale chiamato RenoBIM per una procedura molto efficiente dalla raccolta dati, progettazione, produzione, alla fase di installazione. La soluzione in legno offre la possibilità di ristrutturare gli edifici migliorando le prestazioni energetiche e lo strumento RenoBIM, basato su un flusso dati digitale in BIM, consente di ridurre i tempi di ristrutturazione e rendere più efficiente il processo di ristrutturazione. Il caso di studio si chiama KUBIK e si trova a Bilbao, in Spagna.

Un ruolo centrale e di integratore tecnologico nel concetto RenoZEB è la tecnologia Plug & Play Façade. Il singolo pannello prefabbricato ha la capacità di integrare una vasta gamma di materiali isolanti, da abbinare con diverse tecnologie HVAC e sistemi di distribuzione dell'energia tra di loro e con le fonti di energia rinnovabili solari.





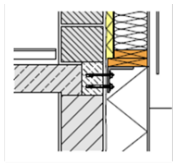



La nuova facciata prefabbricata è isolata esternamente con lo spessore di materiale isolante necessario per fornire un valore U di $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ciò nonostante, tale soluzione contribuisce ad aumentare la tenuta all'aria della facciata e a ridurre la perdita di energia associata alle infiltrazioni.



Figura 26: Dettaglio Ancoraggio Progetto Reno Zeb (Fonte: www.renozeb.eu)

2.2. Risultati Progetti di Ricerca

Per i progetti precedentemente citati sono state individuate le principali tematiche utili a rispondere alle esigenze di riqualificazione di edifici residenziali, come sistema di ancoraggio, modularità dei pannelli, performance energetiche e valutazione dei costi.

PROGETTO DI RICERCA		MODULARITA' PANNELLO		CONNESSIONE	
Gap Solution (2006-2011)		Multi-Pannello		Puntuale	
TES (2008-2016)		Multi-Pannello Mono-Pannello		Puntuale	
Energiesprong FR (2010 - in corso)		Mono-Pannello		Puntuale	
iNSPiRe (2012-2016)		Multi-Pannello			
More Connect (2014-2019)		Mono-Pannello		Puntuale	
Ri.Fa.Re (2014-2015)				Puntuale	

<p>Sinfonia (2014-2020)</p>		<p>Multi-Pannello Mono-Pannello</p>		<p>Puntuale</p>	
<p>P2Endure (2016-2020)</p>		<p>Multi-Pannello</p>		<p>Puntuale</p>	
<p>4RinUE (2016-2020)</p>		<p>Multi-Pannello</p>		<p>Puntuale</p>	
<p>Reno Zeb (2017-2021)</p>		<p>Multi-Pannello</p>		<p>Puntuale</p>	

Una delle caratteristiche principali di questi interventi è la prefabbricazione dei componenti in officina, aspetto che è stato valutato accuratamente nell'analisi di mercato e classificato sulla base di tre fattori:

- livello di prefabbricazione del sistema
- presenza di serramenti installati durante la prefabbricazione
- sistemi impiantistici integrati nel pannello

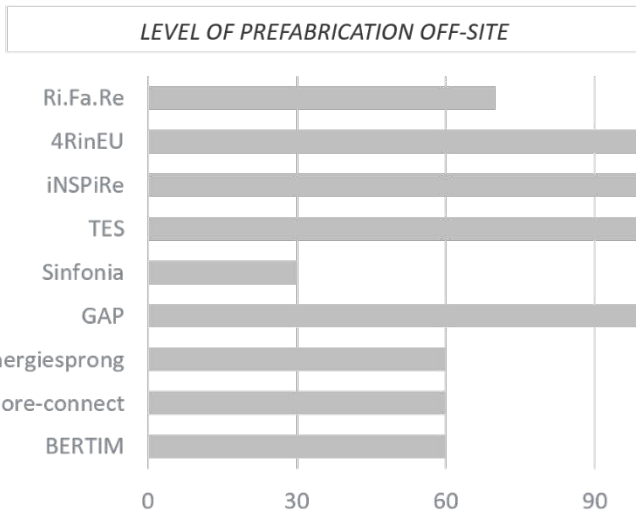


Figura 27: Livello di prefabbricazione di alcuni dei progetti. Fonte: inspirefp7.eu

Il concetto di prefabbricazione in questi casi è direttamente correlato a quello di industrializzazione nell'ottica per la quale nell'ottimizzazione del processo il contributo ingegneristico è anticipato dalla fase di costruzione alla produzione delle componenti off-site.

Il livello di industrializzazione può dipendere anche dal grado di multifunzionalità del sistema, variabile a seconda delle componenti impiantistiche implementabili nell'intervento.

Nella figura sottostante sono riportati i nove progetti inseriti nell'analisi di mercato distribuiti dal punto di vista cronologico e catalogati sulla base del livello di industrializzazione raggiunta.

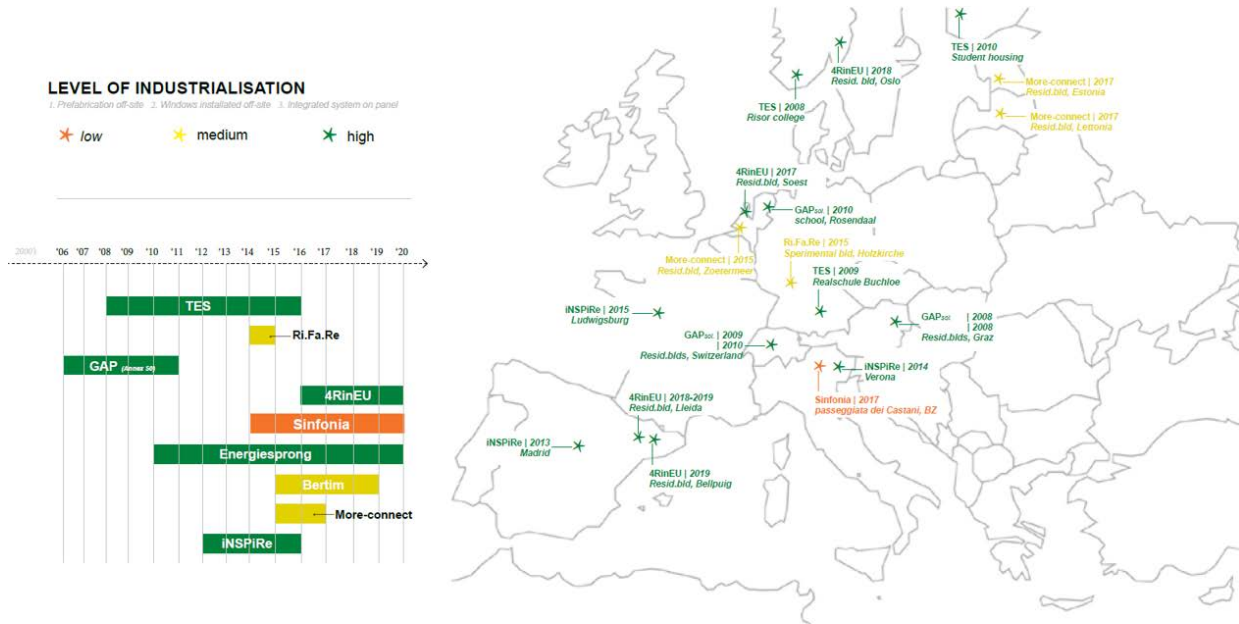


Figura 28: Livelli di industrializzazione alcuni dei progetti analizzati

Modularità Pannelli

Un aspetto rilevante è la dimensione dei moduli. I pannelli più piccoli, infatti, sono più facili da movimentare ma richiedono maggiori punti di aggancio e questo può rappresentare un costo ed una lavorazione ulteriore se la muratura non è portante ed è necessaria una sottostruttura aggiuntiva. Per contro lavorare con pannelli più grandi richiede un tempo di installazione minore ma c'è bisogno di uno spazio di manovra più ampio, più operatori coinvolti nella movimentazione e strumentazioni per la movimentazione che aumentano il costo dell'intervento.

Alcuni ragionamenti sono stati effettuati sul rivestimento esterno, non sempre effettuato in opera, che può essere effettuato o tramite intonaco o con rivestimento a secco quindi doghe in legno o metallico.

Mentre l'intonaco è più semplice da applicare direttamente in officina (i pannelli si possono intonacare e lasciare eventualmente gli ultimi 10 cm per la finitura in opera o lasciare a vista la linea di separazione come gioco in facciata) per contro rischia facilmente la fessurazione e bisogna quindi fare attenzione alla formazione di possibili crepe. Il rivestimento a secco lascia spazio per integrazioni impiantistiche ed intercapedini d'aria per la ventilazione ma risulta un sistema più costoso e pesante e spesso va installato in opera.

Da questo studio è stato possibile effettuare anche alcune considerazioni di confronto rilevanti come quella tra struttura portante a telaio e CLT.

Due dei progetti affrontati hanno proposto soluzioni tecnologiche diverse dal telaio ligneo, in particolare una soluzione ha previsto l'utilizzo di strati sovrapposti di pannelli isolanti mentre la seconda l'utilizzo di un pannello CLT a sostegno di una ulteriore struttura con montanti in legno.

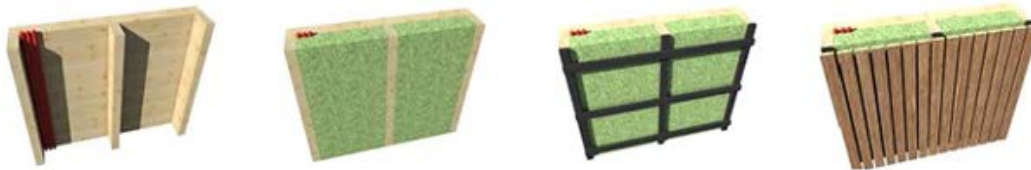


Figura 29: Composizione del pannello utilizzato nel progetto Bertim. Fonte: BERTIM

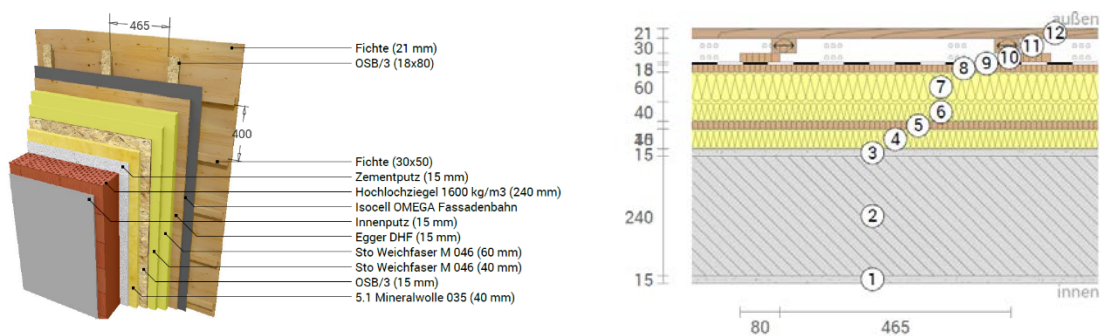


Figura 30: Pannelli sandwich composti da strati di isolante. Fonte: 4RinEU

Queste due alternative sono comunque valide nonostante l'incremento di peso previsto rispetto alla prima proposta. Come già discusso nei paragrafi precedenti, la composizione modulare con l'impiego del CLT può fungere, qualora se ne verifichi l'esigenza, da consolidamento strutturale per l'esistente.

Il CLT permette di creare dimensioni di parete per cui è possibile creare pareti strutturali attraverso un sistema assimilabile a un compensato. A livello cellulare è un materiale composito naturale ed ha una resistenza a flessione e deformazione che permette di ottenere un rinforzo sismico, oltre ad un risanamento energetico. Lo svantaggio è che è pesante da trasportare, da movimentare e da installare ed i sistemi di fissaggio devono essere studiati per assorbire l'energia sismica.



Figura 31: Posa di una parete in CLT. Fonte: Bertim

Performance energetiche e valutazione dei costi

Correlato al concetto di industrializzazione del processo è il tema dell'installazione, montaggio e trasporto dei pannelli in sito. A seconda della struttura esistente possono essere impiegate diverse attrezzature come autogrù, gru mobili o grù da cantiere. Nei casi analizzati la gru è sempre presente, portando dietro di sé un costo che è maggiore di quello relativo ai ponteggi, ragione per la quale, a parità di utilizzo, i costi aumentano. Con l'autogrù poi si possono raggiungere solo determinate altezze, mentre con l'utilizzo della piattaforma elevatrice queste aumentano a discapito dei costi coinvolti nel progetto. Le dimensioni del modulo poi hanno un valore intrinseco sulla sua installazione variando la manovrabilità del prodotto e l'utilizzo delle apparecchiature da coinvolgere. Un modulo ergonomico e di piccole dimensioni, ad esempio, può essere facilmente installabile senza l'utilizzo di una gru ma semplicemente sollevato con una piattaforma elevatrice, che può montare fino a 100 kg di modulo, eliminando i costi connessi all'utilizzo di una gru. Il trasporto avviene per la totalità dei casi analizzati su gomma, tramite l'utilizzo di camion ed autoarticolati.



Figura 32 Installazione di pannelli prefabbricati nel progetto GAP. Fonte: AEE INTEC

Il punto di forza o comunque la proprietà caratterizzante queste azioni di retrofit è il risanamento energetico. In media, l'energia risparmiata è tra il 60 e il 90% e può dipendere dalle condizioni dell'involucro di partenza e quindi dalle sue prestazioni termiche, dalla condizione impiantistica e dalla possibilità di intervenire su di essi ma anche dal livello di industrializzazione che si riesce a raggiungere con l'intervento di riqualificazione.

Tabella 2: Prestazioni energetiche prima e dopo l'intervento.

Fabbisogno di energia primaria di riscaldamento [kWh/mqy]			
	<i>Prima dell'intervento</i>	<i>Dopo l'intervento</i>	<i>%</i>
4RinEU	247	61,7	75
iNSPiRe	95	30	70
GAP	184	12	93
Energiesprong FR	301	76	75
Ri.Fa.Re	> 200	50-20	70-90
TES	220	71	65
Sinfonia	101	25	87

Generalmente per questo tipo di interventi raggiungere buone prestazioni energetiche dopo l'applicazione dei pannelli in facciata non è complesso, in quanto l'aumento delle performance vengono sostenute anche da integrazioni impiantistiche che vanno a lavorare sia sulla correzione dei ponti termici, sulla qualità dell'aria interna e della vita degli occupanti.

Le prestazioni energetiche diventano più rilevanti se confrontate con i costi dell'intervento. Questi dipendono da fattori quali ad esempio l'ottimizzazione della produzione fuori sede o la scelta di applicare al sistema una soluzione tecnologica d'impianto spinta. Come possiamo vedere nella tabella seguente (Tabella 3), se il sistema di integrazione sulla facciata aumenta, i costi della ristrutturazione aumentano di conseguenza, questione evidenziata da progetti come iNSPiRe o Energiesprong FR.

Tabella 3: Confronto tra costi e performance energetiche

Costi comparati alle performance energetiche dell'edificio					
Energia primaria di riscaldamento [kWh/mqa]			Costi [€/mq]		
	Prima dell'intervento	Dopo l'intervento	Dimensioni dell'edificio	Dimensioni della facciata	Costi
4RinEU	247	61,7	2 piani, 8 edifici	Ca. 5400 mq	465 €/mq
iNSPiRe	95	30	4 piani da 280-300 mq	297 mq	1087 €/mq
GAP	184	12	4 piani, 5 edifici	Ca. 5040 mq	816 €/mq
Energiesprong FR	301	76	10 piani da 84 mq/edificio	1128 mq	1525 €/mq

Altri fattori che determinano il costo dell'intervento variano con il grado di prefabbricazione in officina e con le dimensioni del pannello, a loro volta strettamente correlati all'uso di ponteggi o macchinari speciali in loco, evitando, per esempio, periodi di inefficienza delle attrezzature impiegate in sito.

Ricapitolando, una delle caratteristiche più importanti che aumentano il valore sul mercato è l'alta qualità di questi prodotti grazie a una prefabbricazione esterna off-site, combinata con un montaggio rapido che aumenta l'accettazione degli inquilini che molto spesso non devono lasciare appartamenti durante la costruzione.

Questi sistemi di facciata sono anche facilmente adattabili a vari edifici, clima e condizioni esterne. Invece, tra gli aspetti più critici possiamo trovare l'interfaccia tra pannello e pannello, la necessità di manodopera specializzata per l'installazione e il confronto con altri sistemi di costruzione come ad esempio le strutture in acciaio, preferite in termini di resistenza al fuoco e vita utile.

In conclusione, quando si affrontano interventi con azioni di retrofit di questo tipo è necessario muovere la complessità dal cantiere alle fasi di progettazione e industrializzazione del processo. Questo può essere possibile grazie a nuove tecnologie come il BIM o la lavorazione CNC, allo stesso tempo è necessario un cambiamento di visuale verso concetti come la valorizzazione del ciclo di vita del prodotto e la sua valutazione in fase progettuale.

Sistemi di aggancio

I sistemi di rivestimento in pannelli leggeri (Lightweight Claddings), sono una delle soluzioni di rivestimento più economiche, utilizzate per strutture commerciali, industriali e residenziali, principalmente per edifici bassi.

Questa categoria di rivestimento include una vasta gamma di materiali possibili:

- Legno
- Metallo
- Fibrocemento
- Mattoni o piastrelle in pietra

- PVC



Figura 33: Rivestimento Leggero (Fonte: www.archiexpo.com)

A causa della loro leggerezza, questi sistemi di rivestimento hanno una limitata resistenza meccanica al vento e agli urti mentre per il fuoco esistono pannelli ignifughi. Tuttavia, tale sistema è in grado di mantenere un buon comfort termico, grazie ad un adeguato dimensionamento dell'isolante. Essendo caratterizzato da un'inerzia termica ridotta, questo modello di rivestimento è consigliato agli ambienti occupati in modo discontinuo, come luoghi di lavoro o riunione, che devono essere rapidamente riscaldati. La modularità di questo sistema di rivestimento è governata dalla tipologia di materiale e dalla sua configurazione (pannelli, doghe, lastre).

Il rivestimento leggero è realizzato dai seguenti componenti:

- struttura principale,
- pannello isolante,
- sistema di connessioni: discreto o continuo,
- pannello di rivestimento.

Tali sistemi non hanno una tolleranza per il movimento relativo tra il pannello e la struttura primaria. Il danno riguarda principalmente la formazione di fessure nel pannello o la disconnessione, come riportato Figura 34 (Barid, 2014).



Figura 34: Danneggiamento pannelli di rivestimento leggeri (Fonte: Barid, 2014)

Il tema dei sistemi di aggancio con la struttura esistente rappresenta un ulteriore focus di approfondimento, in quanto, a seconda dell'apparato costruttivo dell'edificio, è possibile determinare la connessione metallica ottimale.

I pannelli di rivestimento leggeri possono essere connessi alla struttura principale mediante una connessione continua, realizzata con sottostruttura in acciaio o in alluminio, altrimenti tramite connessione discreta.

Il sistema di sottostruttura è composto dai seguenti elementi (Figura 35):

- a) Pannello di rivestimento
- b) Sottostruttura
- c) Isolante
- d) Struttura principale

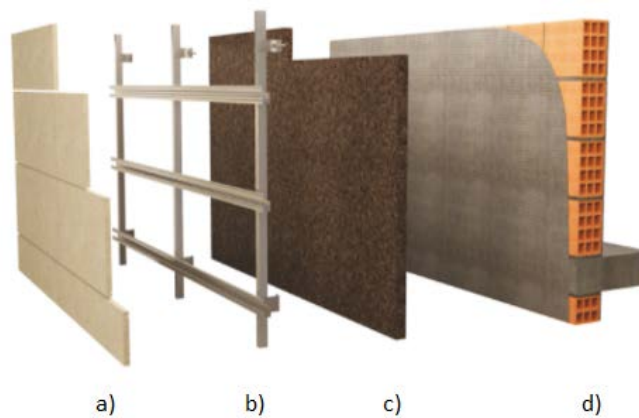


Figura 35: Sottostruttura

La sottostruttura a sua volta è composta da:

- staffe,
- profilati,
- porta lastra.

Tale sistema è caratterizzato dall'aver le seguenti proprietà, individuate come le caratteristiche principali per la scelta di un ancoraggio (Rosso indica che il sistema non rispetta quella proprietà), descrizioni riportata nella tesi di laurea di Ilaria Sebastiani, 2021.

Prefabbricazione	Red
Regolazione 3D	Green
Smontaggio	Green
Velocità di posa	Red
Compatibilità Materiali	Green

Le staffe consentono la regolazione a muro e permettono di compensare gli eventuali fuori piombo. Queste sono dotate sia di fori che asole, che permettono un utilizzo sia come punto fisso di portata che mobile di trattenimento. Il collegamento staffa-montante avviene tramite rivetti. Solitamente sono realizzate con materiale leggero, lega di alluminio, facile da maneggiare.



Figura 36: Sottostruttura_Staffe (Fonte: www.fischeract.it)

I profilati si distinguono in orizzontali e verticali come mostrato in Figura 37:

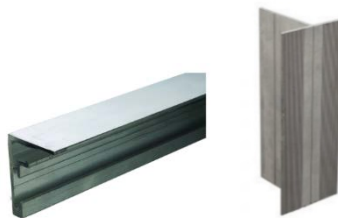


Figura 37: Sottostruttura_Profilati (Fonte: www.fischeract.it)

I porta lastra possono essere mollette, ganci, clips e boccole e possono essere a vista o nascosti come mostrato di seguito:



Figura 38: Sottostruttura: Porta lastra a) nascosto b) a vista (Fonte: www.fischeract.it)

Le connessioni puntali si differenziano principalmente in base al materiale da sostenere.

Per i rivestimenti in pietra naturale è possibile usare collegamenti puntali a perno e tassello con modalità di cedimento (per flessione e/o per taglio) influenzate dallo spessore del materiale, il foro realizzato, il tipo di isolante e il tipo di perno (Baek, et al., 2021).

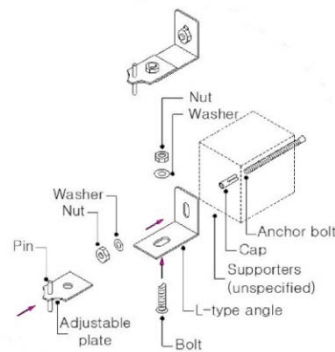


Figura 39: Connessione a perno (Fonte: Baek, et al., 2021)

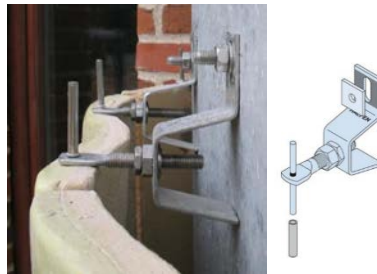


Figura 40: Connessione HRC body (Fonte: www.halfen.com)



Figura 41: Connessione a Tassello-Perno (Fonte: Huang B., 2020)

Questi sistemi sono caratterizzati dalle seguenti proprietà:

Prefabbricazione	■
Regolazione 3D	■
Smontaggio	■
Velocità di posa	■
Compatibilità Materiali	■

Una soluzione di collegamento puntuale per pannelli in CLT può essere realizzata mediante l'uso di due profilati in acciaio connessi mediante bulloni alla trave in calcestruzzo.

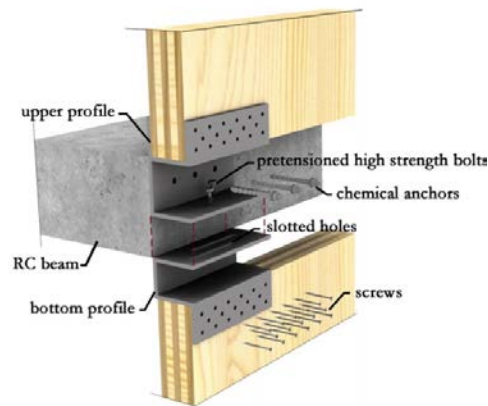


Figura 42: Connessione pannelli CLT (Fonte: Margani, et al., 2020)

Questo sistema è caratterizzato dalle seguenti proprietà:

Prefabbricazione	■
Regolazione 3D	■
Smontaggio	■
Velocità di posa	■
Compatibilità Materiali	■

L'interfaccia tra pannelli rappresenta un elemento particolarmente delicato se non correttamente protetto e messo in opera. I giunti possono essere di diverse tipologie, il manuale del progetto TES ne propone tre, di sotto riportati.

È buona prassi utilizzare tra gli elementi di connessione delle guaine espandenti per permettere la sigillatura dei giunti.

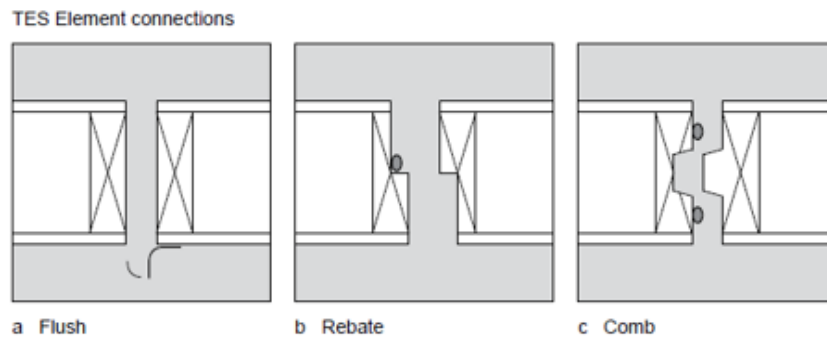


Figura 43: Tipologia di connessioni tra due pannelli (Fonte: TES manual)

Struttura del pannello

Ulteriore oggetto di studio è stata la struttura e tecnologia dei pannelli presenti nei progetti descritti. Sono state individuate tre tecnologie principali:

- Pannelli a telaio in legno con isolamento a bassa densità interposto tra i montanti
- Stratigrafia composta da pannelli di isolante a diversa densità
- Pannello CLT a 3 strati

Il sistema a telaio prevede a sua volta l'utilizzo di montanti e traversi in legno massiccio o la loro sostituzione con elementi TJI¹.

Le stratigrafie proposte ed i nodi costruttivi ipotizzati sono generati a partire dagli studi sul patrimonio costruito e adattati alla morfologia di facciata preesistente. Tutte le soluzioni sono state considerate con rivestimento esterno comprensivo di facciata ventilata e cladding in listellatura lignea o metallica.

Sistema prefabbricato con struttura portante a telaio in legno

La struttura composta da pannelli prefabbricati a telaio in legno rappresenta una soluzione pratica e facilmente implementabile. Come emerso dall'analisi di mercato, la quasi totalità degli esempi riportati presenta una struttura di questo tipo, scelta imputabile alla maggior flessibilità della struttura alle implementazioni impiantistiche e al peso esiguo del pacchetto costruttivo.

Di seguito riportata la stratigrafia in esame, ipotizzata in due diverse versioni, la prima con montanti in legno (Figura 49), la seconda con TJI joist, travi in legno con sezione ad I ad anima sottile (Figura 51).

¹ Si tratta di una tipologia di trave in legno composta da un'anima solitamente in OSB e due flange di estremità in legno massiccio o LVL.

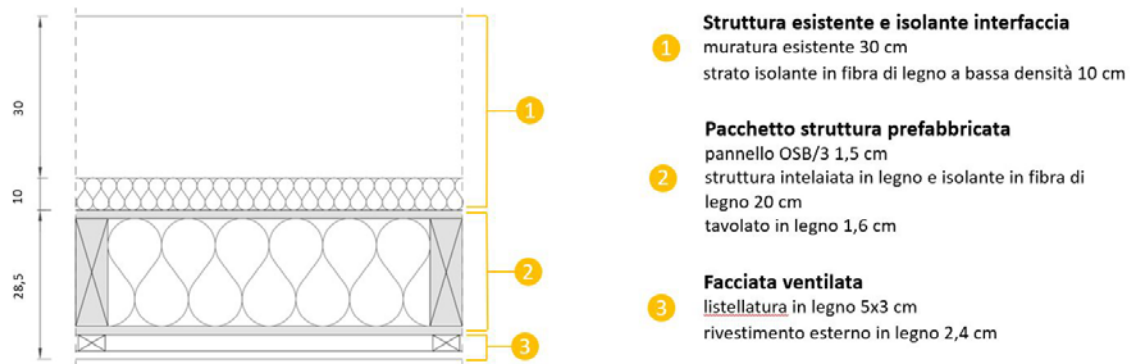


Figura 44 ipotesi 1.a. Pannello con struttura portante a telaio in legno.

Come si può osservare dalla figura, la stratigrafia prevede un primo strato di livellamento tra la muratura esistente e il pacchetto strutturale, qui ipotizzato in fibra di legno, e l'adozione della facciata ventilata con rivestimento a scelta.

La parte centrale del pannello prevede una struttura intelaiata in legno con isolante in fibra di legno di 20 cm, racchiusa lato interno da un pannello OSB/3, e dal lato esterno da un tavolato in legno di abete da 1,6 cm. Questo sistema sarà implementato da uno strato di rivestimento esterno in membrana traspirante, impermeabile e resistente ai raggi UV, posizionato tra la facciata ventilata e il tavolato, previa verifica termo igrometrica del pacchetto.

La variante a questa ipotesi, come anticipato sopra, si definisce dalla medesima successione di materiali, e la sostituzione dei montanti il legno con un sistema di travi ad I, composte da flange in legno massiccio o LVL e anima in OSB 3 o 4 o pannelli in fibra naturale.



Figura 45 Travi ad I in legno. In questo caso STEICO wall. Fonte: steico.com

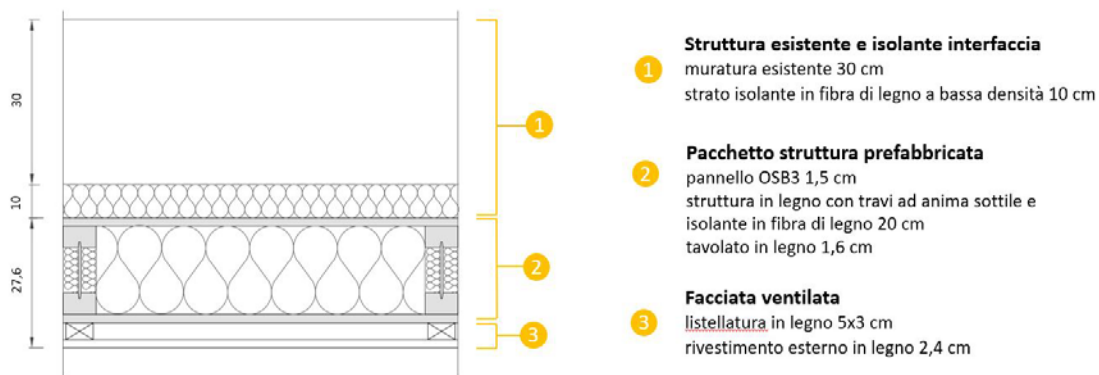


Figura 46 Stratigrafia ipotesi 1.b. Pannello con sostituzione dei montanti in legno con travi ad I alleggerite.

La scelta di questa tipologia di trave permette una diminuzione del peso del pannello di circa il 15% rispetto ad un montante in legno pieno, e può andare ad influire a cascata su altri fattori quali ad esempio la movimentazione e l'installazione in sito.

Sistema prefabbricato con pannelli di isolante a diversa densità

Il secondo sistema prevede l'impiego di pannelli di isolante (nel caso considerato preliminarmente in fibra di legno) a diversa densità, come illustrato nella figura sottostante (Figura 52).

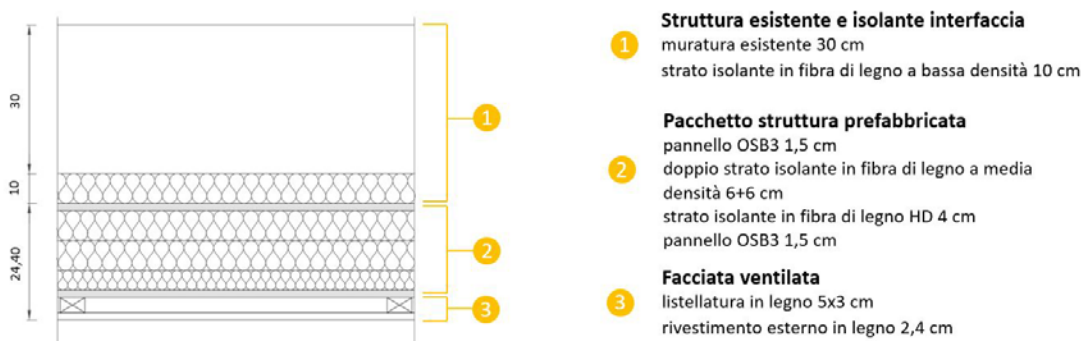


Figura 47 Pacchetto costruttivo con pannelli di isolante a diversa densità

La stratigrafia è composta da un primo strato di riempimento delle irregolarità con isolante a bassa densità posto tra la muratura esistente e il pacchetto strutturale, seguito da un triplo strato in fibra di legno MD ed HD, racchiusi a loro volta tra due strati di OSB ad irrigidire la struttura. La facciata, come per la soluzione precedente, è ipotizzata ventilata con rivestimento esterno a scelta.

La tecnologia in questione prende spunto da un progetto di ricerca H2020 sviluppato da Eurac, denominato 4RinEU, la cui mission consiste nella progettazione di facciate multifunzionali con struttura a telaio in legno per la riqualificazione degli edifici.

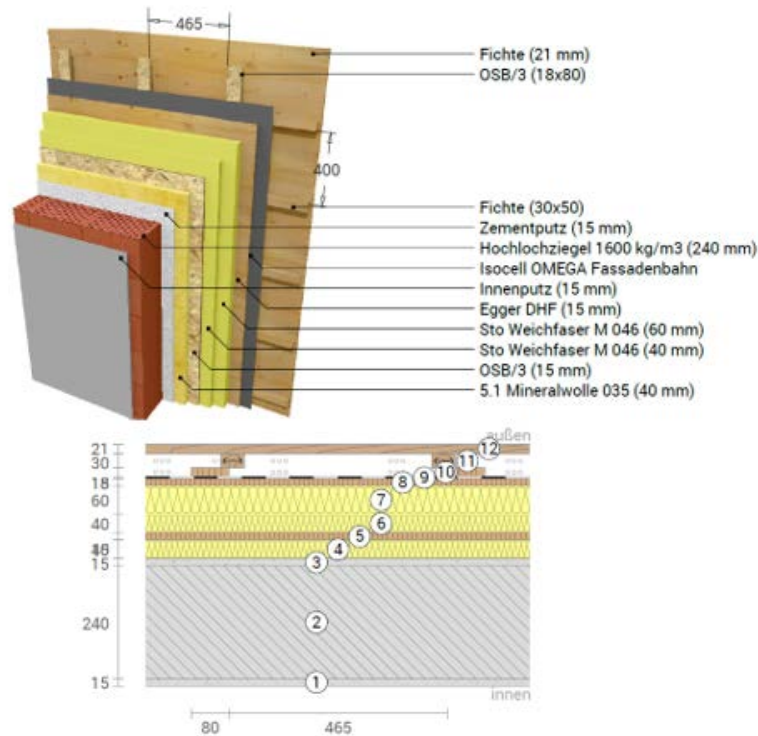


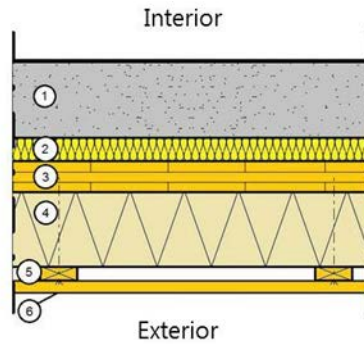
Figura 48 Soluzione adottata nel progetto 4RinEU, ipotesi con pannelli di isolante. Fonte: 4RinEU project

L'adozione di questa soluzione comporta diversi vantaggi in termini di applicazione e adattamento alla morfologia della facciata esistente, in quanto risulta più semplice da sagomare e da installare in loco.

A seconda della tipologia di isolanti impiegati può risultare una soluzione sufficientemente leggera da essere installata agevolmente senza l'ausilio di attrezzature quali gru di grandi dimensioni e ponteggi.

Sistema prefabbricato con struttura portante in clt

L'ultima soluzione prevede l'utilizzo di un pannello di legno massiccio a strati incrociati (CLT, acronimo di Cross Laminated Timber, conosciuto meglio con il nome X-LAM), che, rispetto alle strutture descritte fin ora, possiede un peso ed una rigidità ampiamente maggiore. L'idea di proporre questa ipotesi nasce dall'applicazione di un prodotto simile studiato e testato dal progetto BERTIM, inserito nell'analisi di mercato già citata nei paragrafi precedenti.



1. Existing building
2. Soft insulation with distance body between surfaces
3. Xlam panel
4. Hard insulation
5. Ventilated air gap
6. Facade material

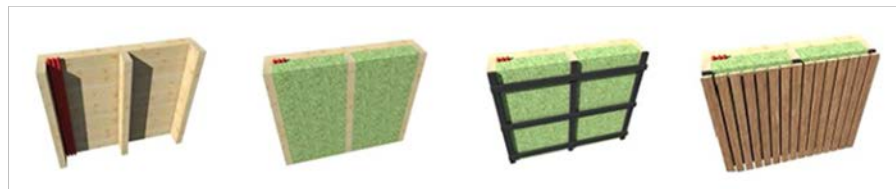
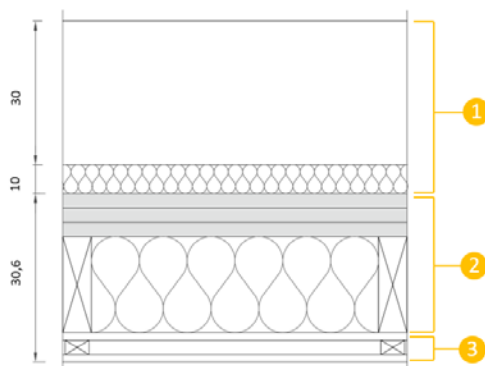


Figura 49 Stratigrafia del pannello adottato nel progetto BERTIM. Fonte: Bertim project

Nel progetto in analisi la presenza del CLT risulta utile ai fini del consolidamento strutturale qualora i pannelli non presentino dimensioni troppo piccole. Il sistema infatti risulta pesare quasi il doppio di un pannello sandwich delle stesse dimensioni e questo comporta l'insorgere di problematiche a livello di movimentazione e aggancio alla struttura esistente.

Il parco edilizio esistente può presentare inoltre, in base al proprio stato di conservazione, una capacità portante ridotta, o comunque non sempre risulta possibile agganciarsi alla struttura principale dell'edificio. La soluzione risulta comunque perseguibile su moduli di piccola dimensione come metodo per trasferire i pesi, con una sottostruttura studiata per permetterne un'adeguata installazione.



- 1** **Struttura esistente e isolante interfaccia**
muratura esistente 30 cm
strato isolante in fibra di legno a bassa densità 10 cm
- 2** **Pacchetto struttura prefabbricata**
pannello CLT 3 strati 9 cm
struttura intelaiata in legno e isolante in fibra di legno 20 cm
tavolato in legno 1,6 cm
- 3** **Facciata ventilata**
listellatura in legno 5x3 cm
rivestimento esterno in legno 2,4 cm

Figura 50 Pannelli prefabbricati con struttura portante in CLT.

Gli strati di finitura del pacchetto prevedono una sottostruttura a telaio ligneo con interposto isolante in fibra di legno e facciata ventilata (Figura 55).

3. Definizione del sistema LegnAttivo

L'indagine di mercato, descritta nei paragrafi precedenti, ha portato all'elaborazione del concept del modulo utilizzato per il progetto LegnAttivo. I quattro driver individuati dall'indagine (Modularità del pannello, Performance energetiche e valutazioni dei costi, Sistema di aggancio e Struttura del pannello) sono stati analizzati in una matrice descritta nel Report 5.1. Questa matrice confronta le tecnologie studiate con le caratteristiche generiche di un edificio (morfologia dei prospetti, presenza di balconi, finestre, ecc). Il confronto realizzato per alcuni edifici selezionati nel parco edilizio della provincia di Bolzano per il progetto di LegnAttivo, ha portato alla definizione di un pannello relativamente leggero di ridotte dimensioni, che avesse la possibilità di montaggio e smontaggio facilitato da daei sistemi di ancoraggio del tipo Plug&Play.

3.1. Definizione della struttura del pannello

Il contesto edilizio, analizzato per il progetto, nella provincia di Bolzano comprende edifici appartenenti al periodo 1950-1980. Data la precaria situazione strutturale, in CLS armato, di edifici di quel periodo nel poter essere soggetti ad ulteriori sovraccarichi, si è optato per un tipo di facciata prefabbricata realizzata in pannelli con struttura interna il più possibile leggera.

I pannelli a struttura intelaiata sono quelli ampiamente utilizzati in progetti di risanamento energetico con moduli prefabbricati. Un'alternativa valida è costituita da una struttura a pannello sandwich, composta da isolanti a diversa densità con componente lignea rappresentata da pannello multistrato fissato alla facciata esistente. Sfruttando questo sistema si potrebbe ipotizzare una minore manodopera in cantiere, grazie anche all'impiego di macchine a controllo numero (CNC), per far fronte al grande limite della flessibilità

Nella Figura 51 è riportata la struttura ipotizzata per il progetto LegnAttivo. Un primo strato di interfaccia con l'esistente consiste in uno strato di isolamento a bassa densità, che possa compensare tutte le non complanarità della superficie esistente di appoggio. Un secondo strato irrigidente del pannello è stato pensato in LVL. Il microlamellare è un materiale multistrato altamente resistente, ha caratteristiche e resistenze meccaniche simili al CLT ma con spessori e quindi peso molto ridotti. Il terzo strato ha una funzione puramente energetica di isolamento, driver del progetto, ed è rifinito da intonaco o può essere trattato con rivestimento a scelta dell'utente o progettista.

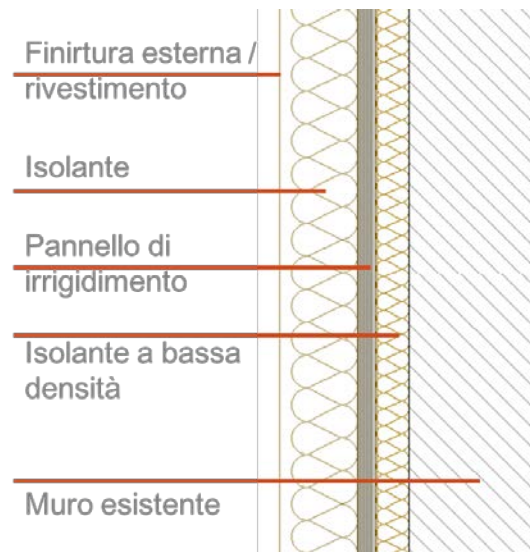


Figura 51 Struttura del pannello LegnAttivo

Nella Figura 52 sono riportati gli spessori, densità e peso al metro quadro degli strati del modulo. Gli spessori riportati in fase di concept differiscono da quelli realizzati per i mock-up finali. L'installazione e l'aumento dell'ingombro del sistema di ancoraggio in fase di progetto, hanno portato, in una seconda fase, ad un ispessimento dello strato di isolamento di adattamento per poter integrare tali ancoraggi.

	Spessore [cm]	Densità [kg/m ³]	Kg/mq
Strato isolante in fibra di legno a bassa densità (es. Isocell)	4	60	2.4
Kerto LVL panel	1.5	500	7.5
Strato isolante in fibra di legno a media densità	18	160	28.8
Strato di intonaco silossanico (Es. Röfix)	1.5	1300	19.5
Totale	25		58.2

Figura 52 Caratteristiche del modulo LegnAttivo

3.2. Definizione della morfologia del pannello

Lo scopo principale di progetto consiste nella definizione delle configurazioni generali del sistema, con integrazione di diversi componenti impiantistici.

Una volta individuati i requisiti tecnologici di facciata tramite l'analisi dei vincoli tipologici e morfologici del contesto costruito, ci si è occupati di identificare un pacchetto di soluzioni declinato in diversi varianti e caratterizzato da determinati requisiti.

Le caratteristiche dell'intervento prevedono alcune funzionalità come l'installabilità dall'esterno, l'adattabilità, rapido assemblamento e la flessibilità di posa.

Una delle soluzioni sviluppate in una prima fase di progetto era composta da moduli con geometrie triangolari. In questo caso il pannello verrebbe agganciato al solaio nella parte inferiore e sfruttando l'incastro con i moduli risulterebbe possibile diminuire la sottostruttura, compensando per esempio l'extra costo connesso.

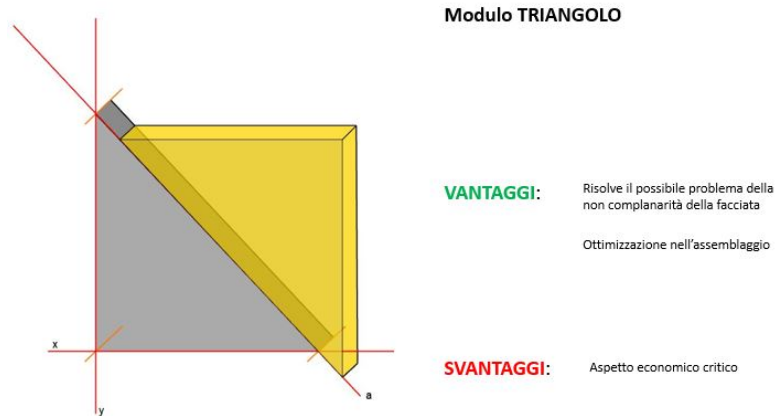


Figura 53 Modulo triangolare. Fonte: Michael Tribus

Tra i moduli triangolari e la finestra, dove risulta più complesso operare con la seguente morfologia, si crea uno spazio spendibile per l'alloggiamento impiantistico. Questi spazi, riconducibili a fasce marcapiano, favoriscono la possibilità di assorbimento delle tolleranze e dei possibili errori a cascata che potrebbero generarsi durante la posa in opera del pannello.

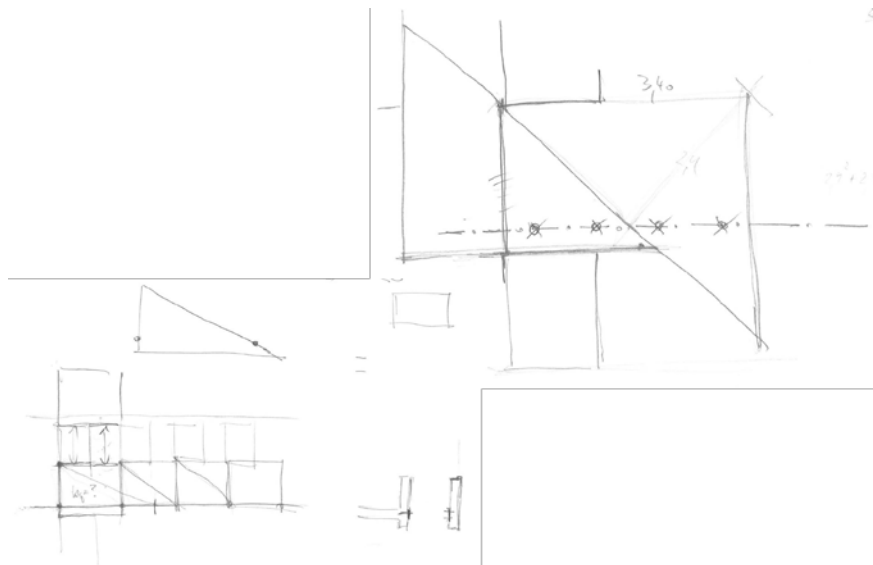


Figura 54 Schizzo concettuale sulla disposizione dei moduli. Fonte: Michael Tribus

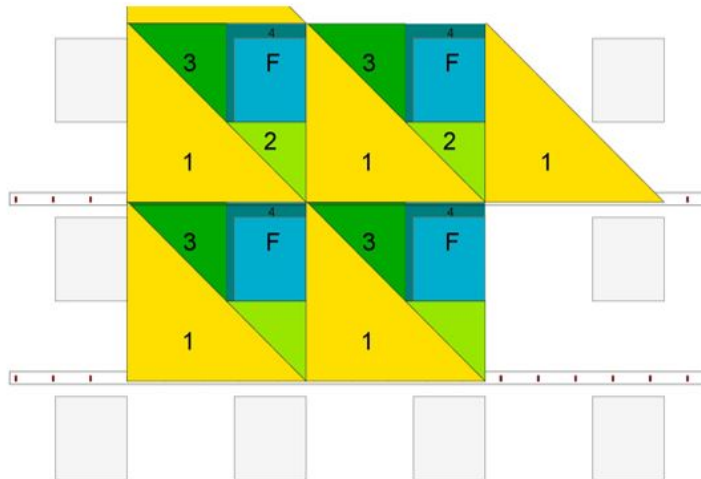


Figura 55 Disposizione dei pannelli in facciata. Fonte: Michael Tribus

Per contro, l'impiego di questa soluzione può presentare criticità economiche legate anche al rapporto telaio-superficie e diventare da questo punto di vista poco vantaggioso. Un altro punto a svantaggio di questa soluzione è rappresentato dalla gestione della diagonale, in particolare per le strutture in legno è indispensabile cercare di evitare gli scorrimenti in quanto difficilmente gestibili in cantiere (principalmente relativo a guaine espandenti, PDM e nastature).

Questo approccio è stato successivamente trasposto a geometrie rettangolari, di più facile lavorazione, movimentazione e gestione in fase di installazione.

I vincoli di accessibilità al lotto, i possibili ostacoli presenti nel contesto di intervento, tra edifici e alberi, presenti in più edifici tra quelli studiati, indirizzano la scelta a pannelli di limitate dimensioni, per garantire la manovrabilità e praticità di installazione in cantiere, valutando l'ipotesi di fissare solo delle dimensioni massime che considerino la questione del trasporto e dell'installazione. Rimanendo su geometrie di ridotte dimensioni, il concept di progetto si è evoluto in pannelli con un'altezza di metà interpiano.

Si è proceduto a un sistema che scompone in fasce orizzontali il prospetto su cui si interviene (Figura 55). Una fascia quota sotto-finestra con funzione di solo isolamento termico, mentre una fascia intermedia allo stesso livello delle finestre che accoglie le integrazioni impiantistiche ed i serramenti preinstallati nei moduli. Un sistema Plug&Play, infine, garantisce massima facilità di smontaggio per interventi futuri di manutenzione e di sostituzione.

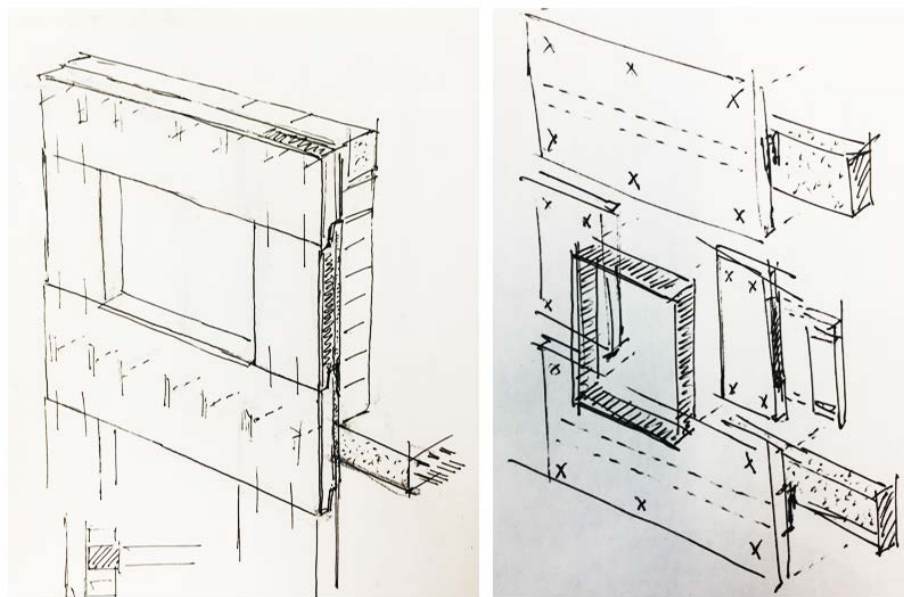
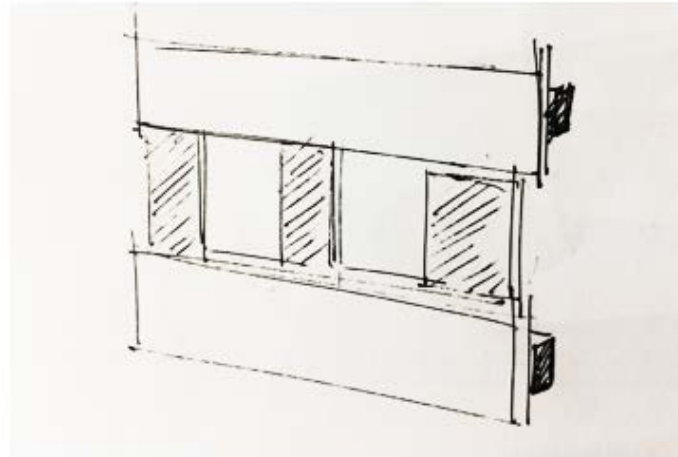
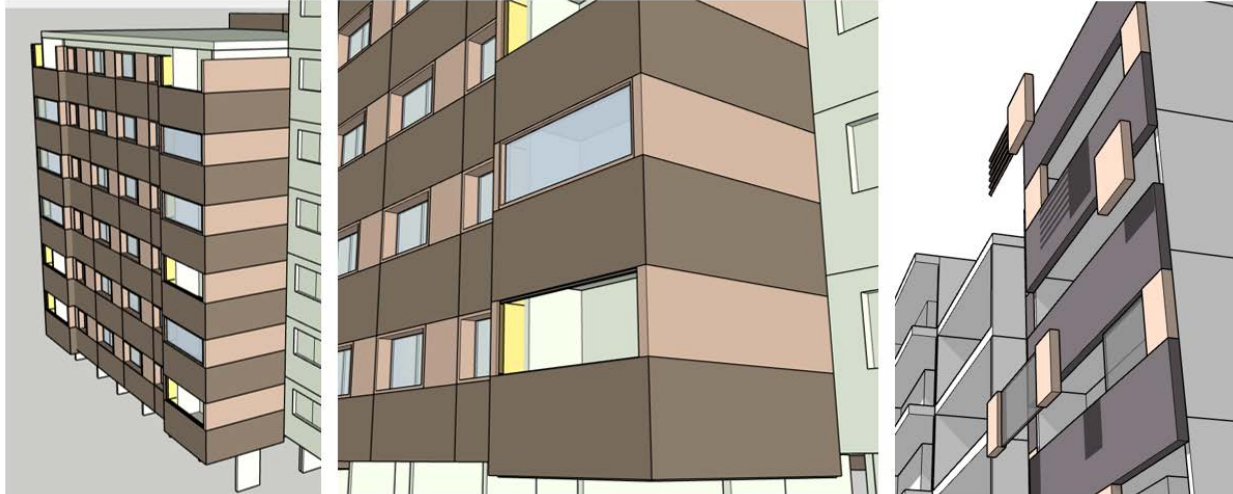


Figura 56 Concept di progetto

Uno degli obiettivi prefissati dal progetto, durante la sua evoluzione, è identificare gli interventi di risanamento e rifacimento di facciata, non come un intervento isolato e di difficile modifica. L'intervento, di risanamento su edifici esistenti, diventa così come l'applicazione di una pelle esterna che possa essere sostituita anche parzialmente in periodi diversi. Non è detto che in una prima fase di risanamento si voglia integrare con sistemi di ventilazione o ad esempio chiudere balconi creando Winter Garten. Un sistema di aggancio/sgancio rapido permette una customizzazione in tempi differenti in base alle indicazioni delle utenze o del progettista, permette inoltre una maggiore facilità di intervento nel visionare lo stato della struttura esistente.



Ultimo aspetto, ma non meno importante, di una facciata che si possa smontare e montare facilmente, è la questione climatica: pensare sempre di più a un climate resilience design. Elementi smontabili garantiscono un'adattabilità anche a variazioni future del clima in brevi periodi, garantendo il massimo comfort interno e un risparmio energetico.

3.3. Sistemi di integrazione impiantistica

Per una risposta globale alle esigenze di riqualificazione degli edifici residenziali, nel progetto LegnAttivo sono state individuate diverse varianti dei moduli prefabbricati che comprendano possibili integrazioni impiantistiche. L'analisi di mercato delle tecnologie esistenti ha aiutato nella costruzione di una matrice che seleziona le principali soluzioni con vantaggi e problematiche che si possono riscontrare in fase di progetto (Tabella 4). Il contenuto di questa selezione è basato sulle esperienze di progetti realizzati da Eurac, FHI e Atrium.

Come illustrato in Figura 57, per progettare una riqualificazione di edifici residenziali con pannelli LegnAttivo esiste un modulo base (MPO): si tratta di un pannello prefabbricato con struttura a sandwich e layer di irrigidimento in legno (struttura descritta nei paragrafi precedenti). In fase di realizzazione e prefabbricazione, tale pannello può essere integrato con serramenti, un sistema di ventilazione o pannelli fotovoltaici. Di conseguenza, il modulo con finestra integrata viene a creare il Modulo Finestra prefabbricato riportato in Figura 51, che può contenere o meno un sistema di ombreggiamento secondo le esigenze dell'edificio e dell'ambiente interno. Qualora si presenti la necessità di integrare il sistema di ombreggiamento nel Modulo Finestra, il designer potrà valutare se farlo dall'esterno (MF.2) oppure se integrarlo all'interno del vetrocamera (MF.3).

Se la riqualificazione dell'edificio prevede un'integrazione di un nuovo sistema di ventilazione, può essere valutato sia un sistema decentralizzato che centralizzato. Per il primo caso, dall'analisi di mercato si denota che macchine decentralizzate sono solitamente integrate nel blocco finestra (MF.1). Il modulo finestra può contenere non solo la macchina decentralizzata, ma anche il sistema di ombreggiamento intelligente (MF.4 e MF.5).

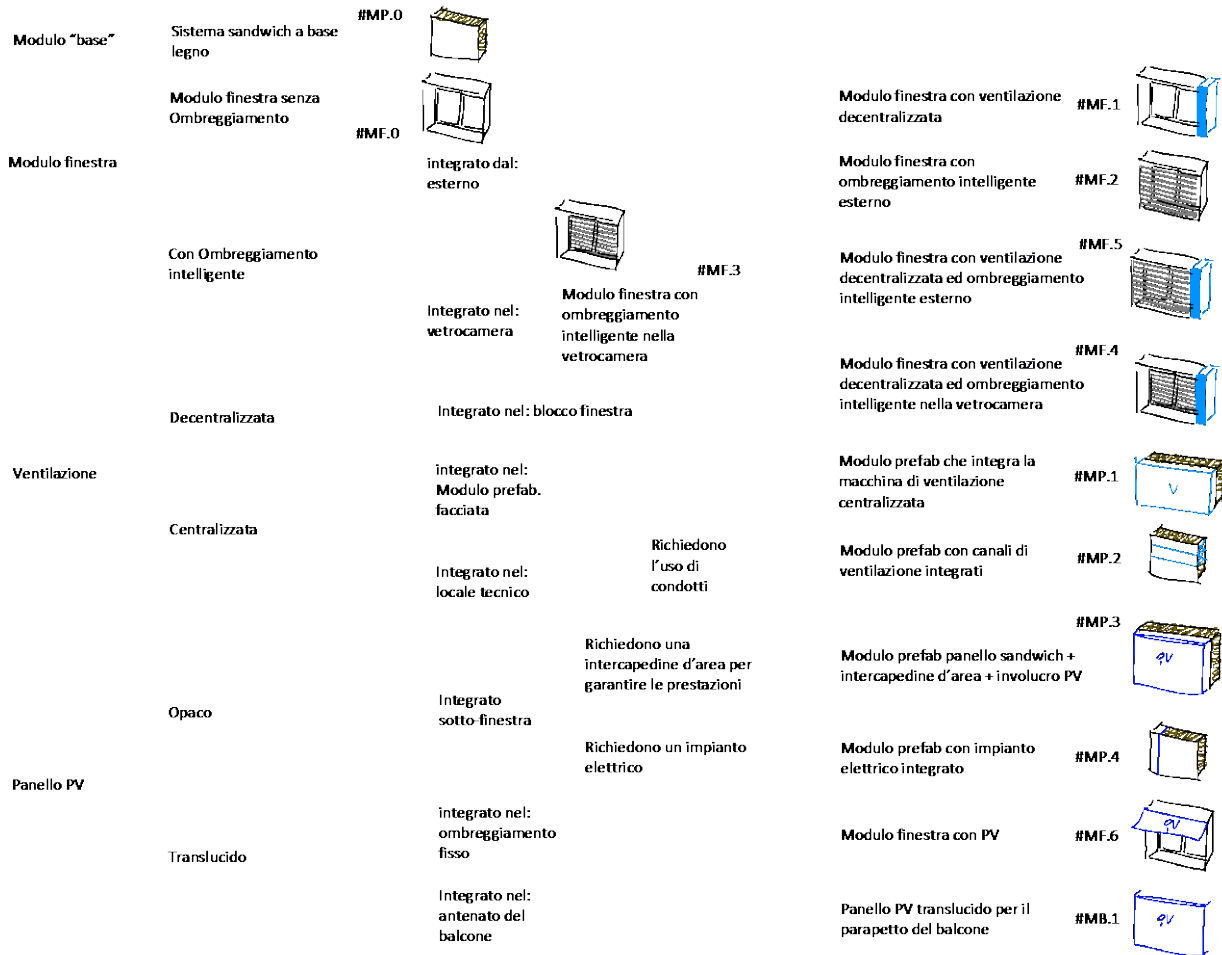


Figura 57 Varianti del modulo prefabbricato LegnAttivo che prevedono integrazioni impiantistiche

Nel caso di un'integrazione con un sistema centralizzato, in presenza della disponibilità di un locale tecnico nell'edificio da risanare, devono essere previsti canali di distribuzione integrati direttamente nel modulo di facciata (#MP.2), evitando così qualsiasi intervento all'interno dell'edificio, riducendo lavori invasivi e tempi di intervento. Nell'ipotesi di assenza di un locale tecnico, LegnAttivo può prevedere un'integrazione della macchina centralizzata anche nel modulo di facciata (#MP.1). Infine, per l'integrazione di elementi attivi per la produzione elettrica, si distinguono due tipi di pannelli PV: opaco e translucido. Il sistema LegnAttivo permette un'integrazione del pannello opaco PV come parapetto del balcone (#MB.1), oppure al lato del modulo finestra (modulo prefabbricato #MP.3). Questo modulo prefabbricato include un'intercapedine d'aria per garantire la corretta ventilazione e le prestazioni del pannello PV. I pannelli PV translucidi possono essere integrati anch'essi nel parapetto del balcone, oppure al di sopra della finestra come sistema di ombreggiamento fisso (#MF.6).

In alcuni casi il contesto e l'edificio da risanare possono presentare delle caratteristiche che condizionano le scelte progettuali e di conseguenza i moduli da selezionare. Per supportare il processo decisionale, lo schema riportato in Figura 58 elenca le domande che i progettisti devono porsi nelle prime fasi del progetto di risanamento. Questo processo decisionale aiuta a identificare le caratteristiche che possono

limitare o meno l'utilizzo di un modulo prefabbricato e inoltre può aiutare ad identificare preferenze o esigenze dell'utente finale o dei progettisti.

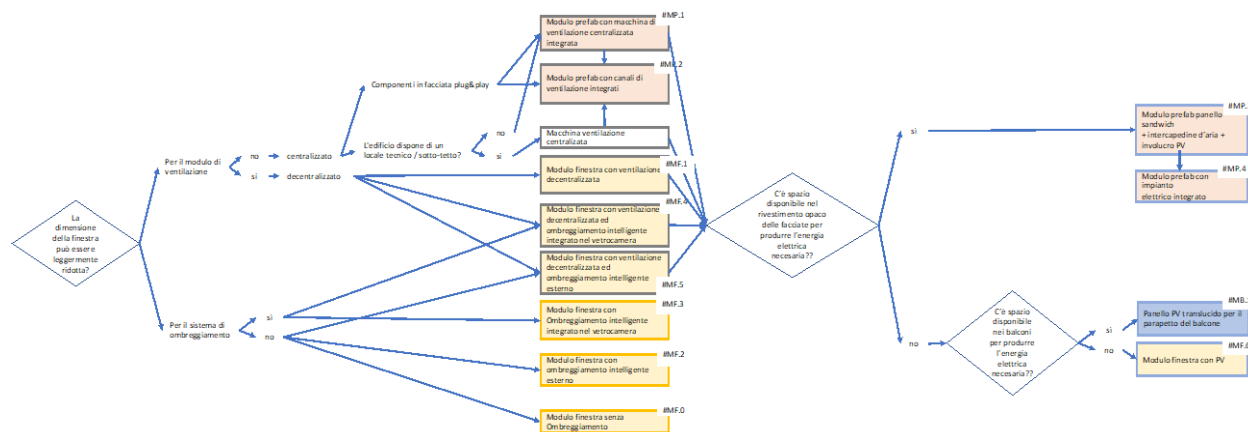


Figura 58 Supporto decisionale per la progettazione del sistema LegnAttivo

Per fare una scelta guidata, il team di design dispone anche di una tabella (Tabella 4) che evidenzia le opportunità presenti nei moduli prefabbricati. Nella tabella sono riportate inoltre gli svantaggi delle diverse configurazioni possibili. Infine, sono riportate le proprietà che caratterizzano ogni unità prefabbricata, illustrando come ogni modulo possa essere integrato nell'edificio.

Tabella 4 Evidenza vantaggi e svantaggi sulle diverse configurazioni/integrazioni dei moduli prefabbricati

#	Modulo Prefabbricato	Particolarità dell'unità prefabbricata	Integrazione Edificio	Opportunità	Rischi e svantaggi
MP. 0	Sistema sandwich in legno	1) Leggerezza 2) Dimensione: metà interpiano	1) Non richiede la demolizione del muro esistente 2) Sistema prodotto su misura per l'esistente, assenza di lavorazioni in opera	1) Riduzione della domanda energetica dovuto all'aumento della resistenza termica dell'involucro 2) Semplicità e velocità di montaggio (Plug&Play) 3) Riduzione dei pesi, facilità di sollevamento ed installazione 4) Riduzione dei disturbi e aumento della sicurezza per gli occupanti	1) Sistema non strutturale 2) Formare installatori per sistema specifico 3) Difficoltà superiore del rilievo e risolvere impianti esistenti a facciata 4) Peso deve essere supportato da struttura esistente 5) Rigidezza strutturale edificio

				5) Riduzione costi installazione	esistente poco elevata 6) Attenzione effetto barriera al vapore che potrebbe causare condensa
MF.0	Modulo finestra senza ombreggiamento	1) Stessa dimensione della finestra	1) La finestra nel modulo prefabbricato andrà a coprire lo spazio del foro finestra esistente. La finestra esistente verrà rimossa	1) Riduzione della domanda energetica dovuto all'aumento della resistenza termica dell'involucro ed alla riduzione delle infiltrazioni d'aria 2) Semplicità e velocità di montaggio (Plug&Play) 3) Stessa dimensione della finestra 4) Non c'è necessità di manutenzione di collegamenti elettrici	1) Possibile surriscaldamento a causa della assenza dello ombreggiamento 2) Possibile disturbo per gli utenti durante la rimozione delle finestre esistenti

MF.1	Modulo finestra con ventilazione decentralizzata	1) L'unità di ventilazione decentralizzata viene installata a fianco del telaio della finestra.	IDEM #MF.0 + 1) Possibilità di sfruttare cassonetto esistente per integrare macchina decentralizzata 2) La macchina deve essere accessibile dall'interno per poter sostituire i filtri e fare manutenzione 3) La macchina può eventualmente essere alimentata da modulo PV integrato in facciata	IDEM #MF.0 + 3) La sostituzione della finestra permette anche il recupero di calore e una ventilazione migliorata 4) Semplicità e velocità di montaggio (Plug&Play) 5) Facile manutenzione del sistema di ventilazione 6) Il sistema di ventilazione non incide in modo rilevante sul peso della facciata	1) Luce della finestra ridotta 2) I ricambi ora garantiti da una macchina di ventilazione decentralizzata coprono generalmente il fabbisogno di ACH relativo ad una sola stanza (MAX ~40m ³ /h) 3) Aumento notevole del costo della finestra 4) Inquinamento acustico del sistema di ventilazione negli ambienti. 5) Efficienze di recupero modeste 6) Se senza PV, difficoltà nel cablaggio 7) Eventuale ponte termico in facciata da investigare
MF.2	Modulo finestra con ombreggiamento intelligente esterno	1) L'ombreggiamento viene interamente inserito nel prefabbricato in una apposita cavità sopra la finestra	IDEM #MF.0 + 1) L'ombreggiante può eventualmente essere alimentato da modulo PV integrato in facciata	IDEM #MF.0 + 2) Riduzione della domanda energetica dovuto al controllo del carico termico solare 3) Miglioramento del comfort visivo 4) Stessa dimensione della finestra	1) Maggiore manutenzione del sistema di ombreggiamento o perché esposto alle condizioni meteorologiche 2) Aumento del peso del sistema finestra 3) Aumento del costo del sistema finestra 4) Se elettrico

					senza PV, difficoltà nel cablaggio 5) Necessità di collegamenti elettrici.
MF.3	Modulo finestra con ombreggiament o intelligente nella vetrocamera	1) L'ombreggiamento intelligente viene installato nella vetrocamera	IDEM #MF.0 + 1) Necessita di collegamento elettrico: può essere sia collegato alla rete che alimentato dal modulo PV	IDEM #MF.0 + 2) Riduzione della domanda energetica dovuto al controllo del carico termico solare 3) Miglioramento del comfort visivo 4) Ombreggiament o non esposto alle condizioni meteorologiche	1) Dimensione della finestra esistente ridotta 2) Aumento notevole del costo della finestra 3) Possibile rischio di surriscaldament o per emissione infrarossa 4) Difficoltà nella manutenzione in caso di guasto 5) Necessità di collegamenti elettrici
MF.4	Modulo finestra con ventilazione decentralizzata ed ombreggiament o intelligente nel vetrocamera	IDEM #MF.1 + #MF.3	IDEM #MF.1 + #MF.3	IDEM #MF.1 + #MF.3	IDEM #MF.1 + #MF.3
MF.5	Modulo finestra con ventilazione decentralizzata ed ombreggiament o intelligente esterno	IDEM #MF.1 + #MF.2	IDEM #MF.1 + #MF.2	IDEM #MF.1 + #MF.2	IDEM #MF.1 + #MF.2

MP. 1	Modulo prefabbricato con macchina di ventilazione centralizzata integrata	<p>1) Per evitare l'aumento dello spessore del pannello, è necessario utilizzare un isolante ad elevate prestazioni dietro la macchina</p> <p>2) Centralizzata per unità abitativa (no problemi antincendio)</p> <p>3) Possibilità di utilizzare balconi e logge per evitare problemi di manutenzione e inserimento isolanti ad elevate prestazioni</p>	<p>1) Necessità di realizzazione dei canali per la ventilazione in facciata (canalizzazione orizzontale/vertical e)</p> <p>2) La macchina centralizzata deve essere sufficientemente sottile da poter essere integrata nel prefabbricato</p> <p>3) Può essere alimentata dalla rete o da modulo PV</p> <p>4) Va progettata in modo da essere facilmente ispezionabile per manutenzione</p>	<p>1) Inquinamento acustico della macchina minimizzato, dovuto al suo posizionamento esterno in facciata</p> <p>2) Alte prestazioni come sistema di ventilazione</p> <p>3) Pannello di facciata leggero</p> <p>4) La dimensione del modulo finestra non è alterata dal sistema di ventilazione</p>	<p>1) Manutenzione dall'esterno (complessità legata alla morfologia dell'edificio)</p> <p>2) Costo isolante ad elevate prestazioni</p> <p>3) Deve essere garantita la sicurezza antincendio e devono essere evitati rischi di condensa interstiziale</p> <p>4) Modulo prefabbricato più pesante</p>
MP. 2	Modulo prefabbricato con canali di ventilazione integrati	<p>1) È necessario fresare il pannello passivo dove passano i canali</p> <p>2) È necessario utilizzare un isolante ad elevate prestazioni dietro i condotti per evitare ponti termici</p>	<p>1) Realizzazione dei canali per la ventilazione in facciata (canalizzazione orizzontale / verticale).</p>	<p>1) Il volume dello spazio interno non è ridotto dai condotti di ventilazione</p>	<p>1) Costo isolante ad elevate prestazioni</p> <p>3) Devono essere evitati rischi di condensa interstiziale</p>
MP. 3	Modulo prefabbricato pannello sandwich + intercapedine d'aria + involucro PV	<p>1) È necessario utilizzare un isolante ad elevate prestazioni dietro i PV per non aumentare lo spessore del pannello, poiché l'intercapedine d'aria aumenta lo spessore del modulo rispetto al</p>	<p>1) Notevole impatto estetico</p> <p>2) Verifica del contesto dell'edificio (altri edifici, alberature) per non creare ostacoli significativi alla radiazione diretta sul pannello PV</p> <p>3) Verifica dell'orientamento</p>	<p>1) Produzione di energia elettrica in sito</p>	<p>1) Costo isolante ad elevate prestazioni</p> <p>2) L'edificio deve disporre dello spazio necessario nella superficie opaca della facciata per installare i moduli PV necessari.</p> <p>3) Modulo</p>

		pannello sandwich passivo	della facciata dove devono essere installati i pannelli PV		prefabbricato più pesante 4) Necessità collegamenti elettrici 5) Aumento dei costi (break even?) 6) Aumento dell' spessore totale
MP.4	Modulo prefabbricato con impianto elettrico integrato	1) Canalizzazione elettricità in facciata	1) Può essere integrato anche non come modulo specifico ma solo come una lavorazione necessaria in caso uno integri PV / macchina ventilazione / ombreggiamento intelligente esterno.	1) È possibile integrare una batteria per più di una macchina e quindi aumentare l'efficienza dei PV e ridurre i costi	1) Manutenzione dall'esterno (complessità legata alla morfologia dell'edificio) 2) Deve essere garantita la sicurezza antincendio e devono essere evitati rischi di condensa interstiziale
MF.6	Modulo finestra con PV	1) Il pannello PV è installato perpendicolare alla finestra, nella parte superiore/inferiore. Forma un'unità singola insieme al modulo della finestra	1) Notevole impatto estetico 2) Verifica del contesto dell'edificio (altri edifici, alberature) per non creare ostacoli significativi alla radiazione diretta sul pannello PV 3) Verifica dell'orientamento della facciata dove devono essere installati i pannelli PV	1) Produzione di energia elettrica in sito 2) La dimensione del modulo finestra non è alterata dal PV 3) Possibilità di alimentare piccoli assorbimenti di ausiliari (motori oscuramento o ventilazione decentralizzata - con batteria) 1) Riduzione della luce entrante dalle	1) La morfologia dell'edificio e la normativa deve consentire l'installazione in orizzontale dei pannelli PV 2) La superficie orizzontale di PV installata deve essere sufficiente a produrre l'energia elettrica necessaria 3) Complessità nei collegamenti dei sistemi di ventilazione,

				finestre negli ambienti, quando la sporgenza del pannello PV è installato nella parte superiore del modulo	batteria e PV 4) Problemi strutturali per carico da vento e neve
MB. 1	Pannello PV traslucido per parapetto balcone	1) Il pannello PV è anche il parapetto del balcone.	1) Il pannello PV è anche parapetto del balcone 2) Notevole impatto estetico 3) Verifica del contesto dell'edificio (altri edifici, alberature) per non creare ostacoli significativi alla radiazione diretta sul PV 4) Verifica dell'orientamento della facciata dove devono essere installati i PV	1) Produzione di energia elettrica in sito 2) La dimensione del modulo finestra non è alterata dal PV 3) Possibilità di alimentare piccoli assorbimenti di ausiliari (motori oscuramento o ventilazione decentralizzata - con batteria)	1) Complessità nei collegamenti dei sistemi di ventilazione, batteria e PV 2) L'edificio deve disporre dello spazio necessario nei balconi per installare i moduli PV necessari.