

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

Investitionen in Wachstum und Beschäftigung  
EFRE 2014-2020

# FESR LEGNATIVO

## REPORT Milestone 5.1

### Strumento metodologico per la selezione di edifici idonei

Partner | Projektpartner

**eurac**  
research

 **Fraunhofer**  
ITALIA

**ATRIUM**

Contatto | Kontakte: Riccardo Pinotti || [riccardo.pinotti@eurac.edu](mailto:riccardo.pinotti@eurac.edu)

Contatto | Kontakte: Roberto Lollini || [roberto.lollini@eurac.edu](mailto:roberto.lollini@eurac.edu)



# Contents

1. Introduzione.....	2
2. Matrice di valutazione per i diversi scenari tecnologici.....	2
2.1. Definizione degli scenari tecnologici.....	2
2.2. Definizione della matrice .....	4
2.3. Definizione delle caratteristiche dell'edificio .....	7
3. Identificazione dei parametri per il pannello di progetto.....	11
4. Indagine globale sull'edificio.....	11
4.1. Documentazione di archivio .....	12
4.2. Ispezione dell'edificio.....	12
4.3. Rilievi e misurazioni .....	12
4.4. Stato di fatto della struttura esistente.....	13
4.5. Stato di fatto delle superfici di interfaccia.....	15
5. Digital workflow .....	16
6. Analisi delle aree di intervento .....	19
7. Analisi dei prospetti di intervento .....	20
8. Conclusioni.....	23

# 1. Introduzione

L'indagine oggetto del seguente documento intende individuare le principali soluzioni distributive e tipologiche finalizzate all'ottimizzazione del sistema e la loro organizzazione spaziale in stretta relazione con le componenti morfologiche preesistenti (quali ad esempio la presenza di affacci, la posizione delle aperture, la dimensione di mensole, sporti e pendenze). Le caratteristiche morfologiche degli edifici di riferimento analizzati nel Report 3.1 e le tecnologie individuate e studiate nel Report 3.2 hanno portato alla costruzione di una matrice, che ha la finalità di individuare la tecnologia più idonea per un determinato edificio basandosi sulle problematiche e i punti forza dei progetti analizzati nel mercato della prefabbricazione dei moduli in legno.

Lo strumento sviluppato consiste in un database in formato Excel nel quale sono stati inseriti i progetti analizzati, scomposti sulla base delle caratteristiche più rilevanti. La funzione di questo tool, infatti, è quella di fungere da supporto nella ricerca di soluzioni attivabili nella catena di produzione raccogliendo in un solo strumento tutte le informazioni necessarie alla progettazione dell'intervento.

Il catalogo include sia aspetti tecnologici, come la progettazione, la composizione del sistema e l'interazione dei componenti, sia elementi relativi al processo, l'installazione, flessibilità, eventuali problemi di manutenzione e informazioni relative ai costi di produzione. L'analisi di mercato ha tenuto soprattutto in considerazione i driver di progetto quale l'installabilità dall'esterno e l'integrazione di componenti impiantistiche (macchina per la ventilazione meccanica decentralizzata, moduli fotovoltaici...) direttamente sul pannello prefabbricato.

## 2. Matrice di valutazione per i diversi scenari tecnologici

I progetti studiati nel Report 3.2 sono stati scomposti dal punto di vista tipologico estraendo gli elementi costruttivi ed impostando un'analisi pratica su eventuali limitazioni all'uso di alcune strategie di intervento.

### 2.1. Definizione degli scenari tecnologici

A tal proposito è stata impostata una matrice di valutazione che permette di evidenziare una combinazione di diversi scenari tecnologici costituiti dalle seguenti variabili:

- Sistema costruttivo e stratigrafia del pannello
- Dimensioni dei pannelli
- Sistema di aggancio
- Trattamento e processo di rivestimento dei balconi

Questi parametri sono stati definiti come preponderanti rispetto ad una serie di caratteristiche tenute in considerazione in fase preliminare, ma considerate in secondo luogo non sufficientemente rilevanti nella caratterizzazione complessiva dell'intervento.

Le variabili considerate sono riportate nello schema seguente.

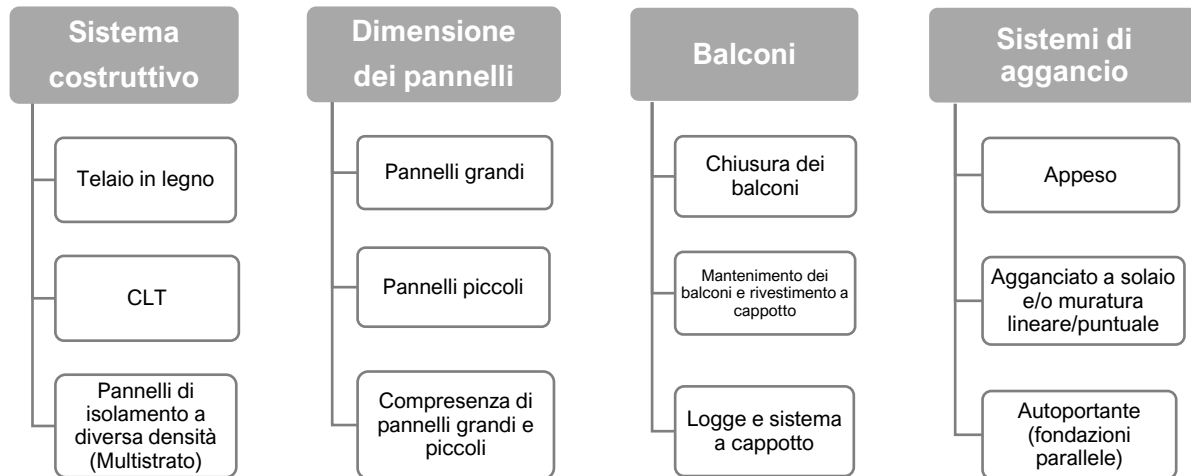


Figura 1: Schema delle variabili inserite nella matrice di valutazione

I sistemi costruttivi inseriti nella matrice sono le tre tipologie sintetizzate nel Report 3.2:

- 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

I tipi di pannelli più comuni in operazioni di questo tipo sono con struttura intelaiata con montanti in legno massiccio/lamellare o TJI joist, pannelli con isolamenti a differente rigidità e infine pannelli in CLT o in compensato.

Per quanto riguarda la geometria sono stati suddivisi in piccoli, grandi dimensioni o compresenza di entrambi in base alla letteratura trovata in queste operazioni di retrofit.

Un'altra macroarea approfondita è il sistema di ancoraggio utilizzato alla parete esistente. Una prima opzione studiata sono i sistemi appesi al solaio di copertura o alla copertura stessa; si tratta di un'opzione scartata a priori perché troppo invasiva, che andrebbe a gravare sul carico dell'ultimo piano, rendendola inapplicabile in un'edilizia che il più delle volte risale a un periodo storico che va dagli anni '50 agli anni '80 e non in condizioni ottimali.

Un'ulteriore opzione per il fissaggio dei pannelli prevede l'ancoraggio alla struttura esistente dei solai di interpiano (si tratta della soluzione più usata in questo ambito). I sistemi plug & play, utilizzati per il progetto LegnAttivo, sono stati considerati come sottocategoria del sistema di fissaggio alla struttura esistente (solai di interpiano) e analizzati ulteriormente nel Report 3.2. Per certi versi sono assimilabili ai classici sistemi di ancoraggio a parete nei solai, ma con una possibilità di aggancio/sgancio dei pannelli che rende più flessibile le operazioni future di manutenzione.

La terza opzione di ancoraggio prevede una sottostruttura di fondazione parallela in modo tale da rendere la facciata autoportante e indipendente da quella esistente se non per agganci di stabilizzazione.

L'ultima area di studio analizzava le modalità di intervento in merito alla presenza di balconi in facciata. Una prima ipotesi prevede il mantenimento dei terrazzi per lasciarli usufruibili all'aperto, la seconda è la chiusura parziale dei balconi, in questo caso nei lati corti dei balconi venendo a creare delle logge. Queste due opzioni comportano l'installazione di isolante a cappotto con metodi tradizionali negli ambienti interni ai balconi. La terza opzione più radicale comporta la totale chiusura del balcone con un modulo prefabbricato di facciata creando un Winter Garten.

Lo studio della matrice, per l'identificazione della tecnologia più idonea per un sistema prefabbricato e allo stesso tempo degli edifici più idonei per questa tipologia di risanamento, è stata una fase che ha preceduto ed aiutato l'identificazione del sistema LegnAttivo. Tra le tecnologie individuate come principali in risanamenti prefabbricati, il progetto LegnAttivo (come descritto nel Report 3.2) ha optato per un sistema a pannelli multistrato e di ridotte dimensioni. Il focus di LegnAttivo è rimasto fin dall'inizio di ricercare un sistema leggero e di semplice applicazione, la matrice ha aiutato nel fornire delle risposte concrete in funzione del parco edilizio oggetto di studio.

## 2.2. Definizione della matrice

La scelta di operare tramite una matrice di valutazione nasce dalla necessità di ottenere una linea guida di supporto alla pianificazione dell'intervento. Questo modo di procedere permette di mettere in evidenza vantaggi e svantaggi di una predeterminata configurazione, valutata sulla base delle caratteristiche morfologiche e geometriche di ogni edificio di riferimento.

Il percorso seguito per la definizione di questo strumento ha seguito più fasi di ottimizzazione. La prima versione, di seguito descritta e modificata successivamente, aveva il fine di rendere più immediati e leggibili i risultati dell'analisi.

Il primo passaggio per la compilazione della matrice è consistito nella creazione degli scenari. Queste configurazioni sono state generate scegliendo la voce tra i diversi menu a tendina, a seconda del sistema costruttivo, della modalità di intervento sui balconi, del sistema di aggancio e della dimensione dei pannelli. Tutte queste tipologie di intervento suddivise nelle macroaree suddette sono state riportate nella matrice in questione.

La prima versione della matrice prevedeva combinazioni diverse di intervento messe a confronto con gli edifici oggetto di studio, in modo tale da tabellare pro e contro, vantaggi e svantaggi di un determinato intervento in un determinato contesto.

Dati edificio					Configurazione del sistema											
ID	Immagine	Ubicazione	Piani	Struttura portante	Sistema costruttivo		Tetto in legno		Pavimenti in ceramica e diversa durezza		Pavimenti in marmo e diverso durezza		Cilindri in cemento			
					Dimensioni dei pannelli		Rivestimenti		Rivestimenti		Rivestimenti		Pavimenti in gresiti			
					Esterno	Interno	Chiusura del sistema	Aspetti	Chiusura del sistema	Aspetti	Chiusura del sistema	Aspetti	Chiusura del sistema	Chiusura del sistema	Aspetti	
Sistemi di aggancio		SOTT		PRO		CONTRO		PRO		CONTRO		PRO		CONTRO		
1		via Roma, 100, Milano	3 piani	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)
2		via Roma, 112, Milano	3 piani	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)
3		via Roma, 114, Milano	3 piani	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)
4		via Roma, 116, Milano	3 piani	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)
5		via Roma, 118, Milano	3 piani	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)	ca. 1000 mq di superficie in CPT (100%)

Figura 2: Matrice di valutazione delle strategie di intervento

Una volta effettuato questo passaggio, si poteva procedere con l'analisi dei pro e contro per ogni edificio di riferimento, compilando le celle sottostanti. In tabella sono stati inseriti i dati di riferimento di ogni edificio, vale a dire l'ubicazione, un'immagine rappresentativa del fronte principale, il numero dei piani ed informazioni sulla struttura portante, suddivise per muratura esterna, solaio interpianto e copertura.

Sono stati inoltre riportati, per ciascun edificio, alcuni commenti relativi alle caratteristiche morfologiche che possono influenzare la scelta dell'intervento.

<i>Dati edificio</i>						
n.	immagine	ubicazione	n.piani	struttura portante		
				muratura esterna	soffitto interpiano	copertura
1		via Damiano Chiesa,4-30, Merano	3/4 piani	c.a con isolamento esterno in EPS (5 cm)	-	piana, isolamento (7cm)
2		Piazza San Vigilio, 11-12, Merano	6 piani	c.a con isolamento esterno in EPS (5 cm)	-	struttura in <b>legno</b> , isolamento XPS, rivestimento lamiera
3		Rione S.Antonio, 1-6, Merano	3 piani	muratura cassa vuota in <b>laterizio</b>	<b>laterocemento</b> , privo di isolamento	<b>laterocemento</b> , non isolata
4		via M.Ladurner, 6/A-6/B, Lagundo	3 piani	travi e pilastri in c.a	a <b>travetti</b> , isolamento ultimo solaio in EPS	c.a, tegole in cemento, senza isolamento
5		via Stava, 73, Naturno	1/2 piani	-	-	-

*Figura 3: Informazioni di carattere generale sugli edifici di riferimento*

Relativamente all'edificio 5 non è stato possibile reperire le informazioni relative alla struttura portante, si può comunque ipotizzare che non si differenzi drasticamente dai fabbricati costruiti nella medesima epoca (telaio in cemento armato con tamponamenti cassa-vuota o murature portanti in laterizio, con solai in laterocemento).

L'ottimizzazione successiva ha introdotto un metodo più efficace atto a riconoscere gli interventi maggiormente convenienti tra le diverse combinazioni messe a sistema.




n.	immagine	ubicazione	n.piani	struttura portante			Sistema costruttivo	Telaio in legno*			
				muratura esterna	solito interpiano	copertura	Dimensioni dei pannelli	Pannelli grandi		Chiusura dei balconi	
							Balconi				
							Sistemi di aggancio	Appeso			
							NOTE	PRO	IMP (1-5)	CONTRO	IMP (1-5)
1		via Damiano Chiesa,4-30, Merano	3/4 piani	c.a con isolamento esterno in EPS (5 cm)	-	piana, isolamento (7cm)	a) diverse tipologie di aggetti b) edificio morfologicamente complesso c) aperture di dimensioni diverse	SC 1 - Sistema largamente utilizzato sul territorio che non necessita di sistemi di lavorazione specifici	5	SC 1 - Disomogeneità dei componenti che comporta sistemi di interfaccia e una lavorazione in più passaggi	3
								SC 2 - Sottostruttura rende più semplice la gestione del sistema di aggancio e l'inserimento di sistemi aggiuntivi (serramenti, HVAC, solare, rivestimenti a secco, ecc)	2	SC 2 - Non possibile modifica in cantiere	5
								DP 1 - Possibilità di ricoprire grandi porzioni di facciata velocemente	1	DP 1 - Trasporto e movimentazione complessa. Eventuale utilizzo di mezzi speciali	4
								DP 2 - Possibilità di inserire sistemi aggiuntivi (serramenti, HVAC, solare, rivestimenti a secco, ecc)	2	DP 2 - Mancanza di flessibilità e adattabilità in fase di installazione	3
								B 1 - Incremento della superficie utile con migliore gestione energetica degli alloggi	4	B 1 - Necessarie verifiche e autorizzazioni per incremento delle superfici	2
								SA 1 - Uniformità delle connessioni	2	SA 1 - Limitazioni delle capacità meccaniche e dei carichi ammissibili	2

Figura 4: Parte del foglio di calcolo dopo l'ottimizzazione dell'analisi. Fonte: FHI

Il quadro dei pro e dei contro nasce in questo caso come combinazione di principi predeterminati (due pro e due contro per ogni singolo parametro). Vale a dire quindi che vi saranno uno o più pro e due contro per il SC (sistema costruttivo) e altrettanti per la dimensione dei pannelli, le azioni da compiere sulle pareti balconate e i sistemi di aggancio. Nella colonna laterale è stata inserita una nuova voce che rappresenta gli indici di influenza attraverso i quali valuto l'impatto dei pro e dei contro rispetto a quel caso studio. I parametri di riferimento sono all'interno di un intervallo tra 1-5, alcuni hanno una valenza di tipo orizzontale, altri interferiscono direttamente con l'edificio. Per esempio, il pro del SC2 è relativo alla possibilità di inserire nel pannello un numero maggiore di componenti grazie allo spazio lasciato tra un montante e l'altro ma l'impatto su questo edificio di riferimento è basso a causa della poca utilità di sfruttare questi vani (edifici uni o bifamiliari non richiedono una numerosa componente impiantistica su ogni pannello). Questo vale per ogni caso studio e per ogni componente della matrice. Se il risultato dunque risulta più immediato, vale la pena sottolineare il carattere strettamente soggettivo di chi assegna questi valori di impatto. Resta necessario dunque valutare in un quadro di insieme i risultati conclusivi.

## 2.3. Definizione delle caratteristiche dell'edificio

Al fine di svincolare l'utilizzo della matrice dai soli edifici presi come oggetto di studio, la matrice si è evoluta successivamente separando le informazioni derivanti dalle tecnologie di intervento analizzate dalle caratteristiche degli edifici. Inoltre un passo ulteriore è stato ricavare le caratteristiche morfologiche o di contesto dai cinque edifici studiati, molto diversi tra loro, in modo tale da sintetizzarle in un ulteriore

matrice che raccogliesse le informazioni di un generico edificio “astratto”. Il fine è stato quello di estendere tale sistema a più edifici possibili.

La matrice si è, quindi, suddivisa in seguito in tre sotto-matrici:

- Una matrice per evidenziare i vantaggi e svantaggi delle tipologie di intervento analizzate
- Una seconda matrice lega questi interventi alle caratteristiche di un generico edificio
- La terza riguarda l’edificio oggetto di studio.

Per quanto riguarda la prima matrice sugli interventi (Figura 5), i pro e contro di ogni intervento sono stati divisi in due macroaree, quelli appartenenti alle caratteristiche intrinseche dell’intervento e quelle relazionabili a fattori esterni (caratteristiche dell’edificio e contesto di intervento). Il risultato ottenuto sono delle sottotabelle per ogni intervento secondo uno schema riconducibile a un’impostazione SWOT.

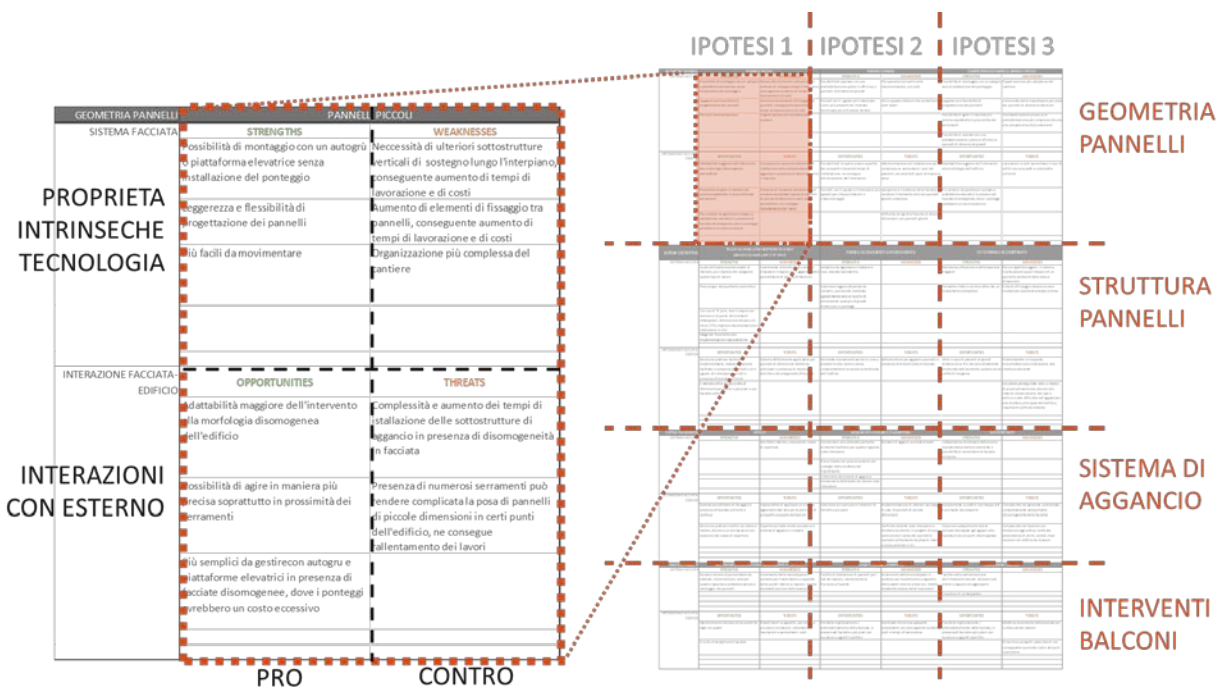


Figura 5 Tabella A, Tipologie di intervento

La seconda matrice (Figura 6) invece mette in collegamento i risultati della prima con le singole caratteristiche geometriche o generali di un edificio astratto, in modo tale da individuare determinati pro e contro di un particolare intervento in un determinato contesto.

Secondo aspetto di questa tabella è valutare, mettere un peso diverso ai singoli vantaggi svantaggi, poiché in alcuni casi lo stesso aspetto negativo di un intervento può presentare un peso diverso in contesti diversi.

Interazioni con esterno da Tab.A

### VINCOLI/CARATTERISTICHE EDIFICIO GENERICO

TIPOLOGIE DI INTERVENTO

			edificio, n. piani		prospetto			aperture edificio		copertura	
			>3	<3	continuità nel prospetto	presenza di balconi	discontinuità nelle volumetrie	continuità in larghezza / altezze	finestre di varie dimensioni	piana	falde
PANNELLI PICCOLI	PRO	Adattabilità	0	0	1	2	3	1	3	0	0
		Possibilità di	0	0	0	0	0	2	3	0	0
		Più semplici	2	3	1	2	3	0	0	3	1
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CONTRO	Complessità	1	2	1	2	3	1	3	0	0
		Presenza di	0	0	0	0	0	1	3	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
PANNELLI GRANDI	PRO	Possibilità di	3	1	3	2	1	3	1	0	0
		Pannelli con	3	2	3	3	1	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CONTRO	Movimentazi	2	3	1	3	3	0	0	1	2
		Sporgenze e	1	2	1	2	3	0	0	1	3
		Difficoltà nel	0	0	0	0	0	1	3	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
COMPRESENZ A DI PANNELLI GRANDI E PICCOLI	PRO	Adattabilità	2	3	1	2	3	2	3	1	2
		Più semplici	3	2	1	2	3	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CONTRO	Lavorazioni e	2	1	3	2	1	3	1	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	0

BASSO    MEDIO    ALTO  
 PRO      1      2      3  
 CONTRO   1      2      3

Figura 6 Tabella B, Morfologia e caratteristiche dell'edificio

Il terzo step riguarda l'edificio oggetto di studio (Figura 7). L'idea è di ottenere, in base all'edificio che si sta studiando, una modalità o più modalità di intervento, quelle più idonee in funzione del contesto. I risultati provengono dalla tabella numero 2 in base ai punteggi dei pro e contro in quel determinato contesto.

Il fine di questa matrice, oltre ad analizzare i vantaggi e gli svantaggi degli interventi parametrizzando le caratteristiche comuni di edifici diversi creando macrofamiglie, è di fornire una guida, un iter progettuale al progettista sulle tecnologie da applicare in base all'esperienza di interventi di retrofit.



Figura 7 Tabella C, Edificio oggetto di studio

Lo scopo di tali matrici non è indirizzare il progettista in un'unica soluzione progettuale che riguardi il tipo di ancoraggio, dimensione dei moduli di pannelli etc; ma di segnalare in base a un determinato contesto quali tipo di soluzioni hanno prodotto più svantaggi o vantaggi in base a progetti di ricerca e altri interventi di risanamento edilizio simili nel passato.

I diversi tipi di intervento sono stati selezionati e catalogati con i loro relativi pro e contro in base alla letteratura nel campo del risanamento edilizio delle facciate di progetti simili e all'esperienza dei partner di progetto. Per quanto riguarda le caratteristiche comuni negli edifici si è proceduto non solo basandosi su aspetti puramente esteriori e geometrici, ma anche ragionando sui processi, sulle problematiche e vincoli che si possono riscontrare nelle fasi di installazione.

### 3. Identificazione dei parametri per il pannello di progetto

Bisogna sottolineare che in alcune di queste operazioni di retrofit e risanamento delle facciate, dopo un primo step di prefabbricazione off-site, avviene un rallentamento principalmente nella seconda fase di installazione. Questo rallentamento, solitamente provocato da vincoli e/o ostacoli nel contesto in cui si va ad intervenire, tende a vanificare i tempi recuperati durante la fase di prefabbricazione.

La costruzione della matrice, che sintetizza interventi e caratteristiche dell'edificio, mira ad identificare, raggruppare e parametrizzare le diverse casistiche che si presentano in questo tipo di intervento. Questo approccio portato avanti, con la collaborazione di Fraunhofer Italia, aiuta a ragionare su una standardizzazione, non solo della fabbricazione dei pannelli, ma anche dei processi di installazione e delle fasi di cantiere.

Questa analisi è iniziata dagli edifici oggetto di studio appartenenti a IPES. Dopo aver riportato in forma digitale piante e prospetti e aver realizzato i modelli 3D, si è proceduto con l'identificazione dei fili fissi strutturali, il numero e dimensione delle bucatore, le superfici nei prospetti effettivamente da isolare e tutti gli elementi, compresi i balconi e discontinuità in facciata, che possono creare problemi o limitazioni di manovra nelle fasi di trasporto e di installazione dei pannelli.

Oggetto di LegnAttivo sarà provare a creare una guida che possa aiutare il progettista ed orientarlo su quali interventi di risanamento di facciate possano essere più idonei in base al contesto che si presenta e in base a progetti simili che hanno riscontrato problematiche simili nel passato. Inoltre possibilmente avere una previsione di spesa al mq in base al tipo di intervento in un determinato contesto.

In seguito ai risultati consigliati, nel progetto LegnAttivo, in base agli edifici selezionati oggetto di studio, sono state individuate alcune caratteristiche comuni per l'intervento in facciata, anche se in edifici molto diversi tra di loro.

Nell'iter utilizzato per il progetto LegnAttivo possono essere identificate quattro fasi principali che si sono susseguite:

- Indagine globale dell'edificio
- Digitalizzazione degli edifici
- Analisi delle aree di intervento
- Analisi dei prospetti di intervento

### 4. Indagine globale sull'edificio

La pianificazione della prima fase di rilievi, indagini e misurazioni sulla struttura dell'edificio e il suo contesto risulta di vitale importanza. Realizzata solitamente da architetti e ingegneri, rivela i punti deboli dell'edificio e della sua struttura, fornendo informazioni necessarie per la progettazione e il fissaggio dei moduli prefabbricati. Aspetto fondamentale, inoltre, di questa fase è comprendere l'idoneità effettiva di tale edificio ad un intervento complesso come l'installazione di facciate prefabbricate. In base alla

documentazione raccolta e ai sopralluoghi effettuati, sarà dovere in questa fase individuare l'effettiva possibilità nel procedere in un intervento a pannelli prefabbricati come quello di LegnAttivo.

## 4.1. Documentazione di archivio

Per quanto riguarda l'edificio è stata raccolta la documentazione disponibile dagli archivi di IPES, la documentazione comprendeva planimetrie dell'intorno e del complesso edilizio, piante degli interrati, dell'attacco a terra e del piano tipo. Inoltre erano presenti prospetti e sezioni dell'edificio.

Tale materiale grafico è stato, in una seconda fase, lucidato in disegni CAD utilizzando come riferimento le misure riportate dal progettista.

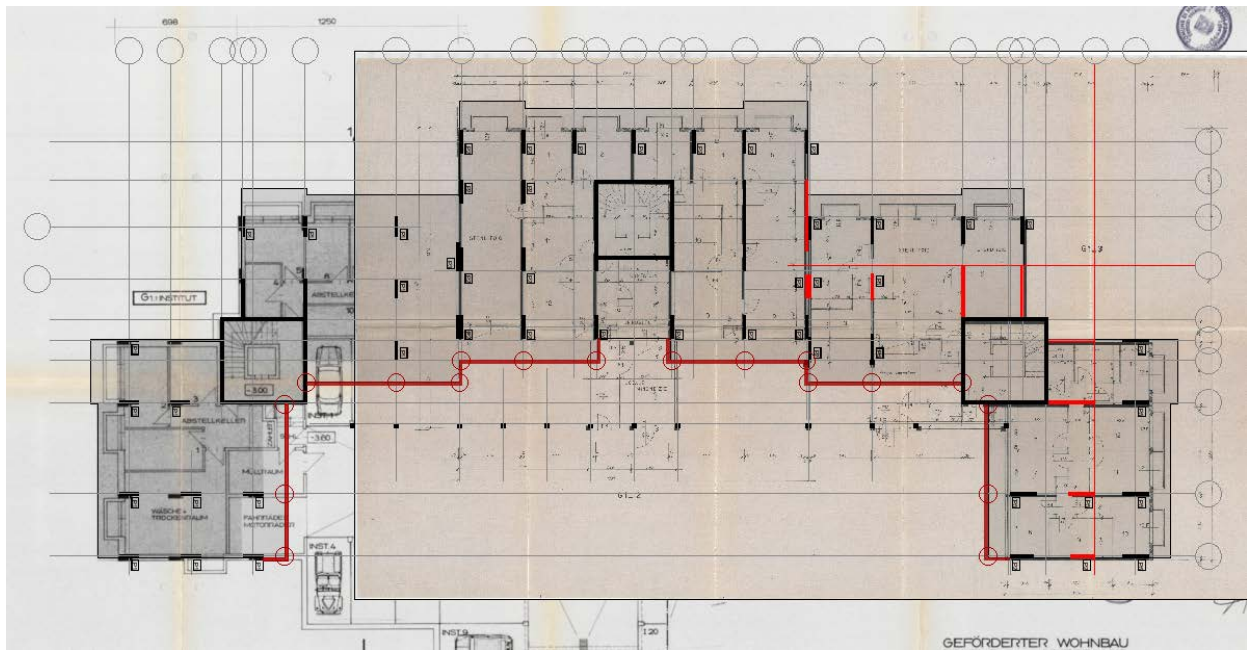


Figura 8 Planimetria dell'attacco a terra dell'edificio sito in Piazza S. Vigilio, Merano (archivio IPES)

## 4.2. Ispezione dell'edificio

Spesso in edifici di questo periodo ci si trova in assenza di un'adeguata documentazione sia del progetto originario, sia delle condizioni di manutenzione degli edifici esistenti. I lavori di ristrutturazione spesso soffrono di errori di stima, errori di progettazione o di fabbricazione degli elementi che lo compongono.

Per stimare un efficace metodo di risanamento delle facciate basato sulla prefabbricazione, vi è la necessità di analizzare il contesto esistente attraverso modelli CAD/CAM per la produzione stessa degli elementi di facciata. La combinazione delle condizioni di un oggetto esistente con nuove parti adattate e prodotte industrialmente porta al modello noto come reverse engineering (RE).

## 4.3. Rilievi e misurazioni

Primo passo cruciale per un'analisi dell'esistente sarà un rilievo completo dell'edificio, questa fase si divide in due processi che viaggiano paralleli, una di digitalizzazione del fabbricato riportando la sua geometria esterna, gli ingombri, i singoli prospetti dove verrà applicato il rivestimento di LegnAttivo. Una seconda

fase è la verifica in luogo del fabbricato, attraverso sopralluoghi e misurazioni per correggere sia errori o incongruenze tra i progetti originari e lo stato di fatto dell'oggetto, spesso dovuti a varianti di progetto in corso d'opera o rifacimenti e risanamenti successivi alla costruzione.

Importante è ricavare tutte quelle informazioni che possano facilitare od ostacolare un intervento di questo tipo (distribuzione funzionale degli appartamenti, analisi strutturale e capacità di carico, impianti esistenti idrico-sanitari e del gas, stato di fatto delle superfici di finitura delle facciate e piano di interfaccia esistente-moduli prefabbricati).

Nel progetto LegnAttivo, non prevedendo la realizzazione di un demo reale, ma una valutazione di fattibilità su demo virtuali, non vi è stata la necessità di sopralluoghi e sondaggi reali del contesto di intervento. Tuttavia il 17 giugno 2020, accompagnati dagli architetti di IPES e dai partner di progetto Fraunhofer Italia e lo studio Atrium, è stato possibile visitare il complesso edilizio situato in Piazza S. Vigilio a Merano. Il sopralluogo all'edificio e ad un appartamento di riferimento ha potuto gettare basi utili su valutazioni e sviluppi successivi del progetto.



Figura 9 Prime stime di scomposizione dei prospetti in fase di ispezione dell'edificio

#### 4.4. Stato di fatto della struttura esistente

Altro aspetto fondamentale della fase dei sopralluoghi e ispezioni risulta l'indagine sulla struttura dell'edificio e sulla costruzione. Essa rivela i punti deboli dell'involucro dell'edificio e della struttura e fornisce le informazioni necessarie per la progettazione e il fissaggio di elementi di facciate prefabbricate.

L'analisi deve essere fatta sia per quanto riguarda la struttura portante dell'esistente, pilastri e travi di bordo, in termini di carichi massimi, geometria delle sezioni portanti, deformazioni, presenza di armature etc sia per le condizioni attuali del calcestruzzo o dei ferri di armatura che compongono tale struttura.

Il fine è di valutare le condizioni dei componenti che andranno ad ospitare la nuova facciata di rivestimento, sia che si tratti dell'interfaccia della superficie di appoggio dei nuovi pannelli, sia della struttura che dovrà sostenere gli elementi di sostegno e di ancoraggio della nuova facciata. L'intenzione è di valutare queste condizioni nei modi meno invasivi e più rapidi per velocizzare il più possibile questa fase di analisi e standardizzarla il più possibile.

Esistono nel mercato diversi prodotti per testare le condizioni delle strutture da analizzare, si tratta di prodotti NDT (Non Destructive Testing) che permettono di testare lo stato di fatto dei materiali, senza dover ricorrere a carotaggi invasivi, soluzione idonea in un contesto come quello di LegnAttivo.

Un esempio di prodotto NDT è Resistograph (o Resistografo), è uno strumento utilizzato per indagini non distruttive sul legno sia per lo studio dei difetti del legno che per misurare la resistenza alla perforazione e la sua densità. Nato in ambito di silvicoltura per individuare il degrado degli alberi, si è esteso anche nel settore dell'edilizia in legno per misurare resistenza e stato di conservazione. Il Resistografo permette di valutare presenza di cavità, aree degradate, aree con vuoti, nodi e fessure con densità diverse a quella di un legno sano. Si tratta di uno strumento semplice e maneggevole da usare in sito.

Il parco edilizio analizzato per il progetto LegnAttivo presenta, tuttavia, la preponderante presenza di strutture intelaiate in calcestruzzo armato, tipologia strutturale prevalentemente utilizzata dal secondo dopoguerra, con tamponature in laterizio e in alcuni casi con coperture in legno, per quanto riguarda gli edifici individuati nella provincia di Bolzano.

Negli edifici in c.a. le proprietà da determinare con le indagini sono la resistenza a compressione del calcestruzzo e le resistenze a snervamento ed a rottura delle barre di acciaio. Dalla resistenza a compressione possono essere ricavate altre proprietà del calcestruzzo come il modulo elastico, la resistenza a trazione e la durabilità.

Aspetto fondamentale nell'impostazione della campagna di indagini sui materiali sarà la scelta dei punti che costituiscono oggetto di indagine, quindi l'ubicazione dei punti da esaminare. Le indagini più frequenti nel calcestruzzo si dividono in quelle di tipo distruttivo (che implicano asportazione localizzata di materia) come i carotaggi e il metodo delle sonde Windsor, e non distruttivi come ultrasuoni. Lo sclerometro ed il metodo combinato Sonreb (uso combinato di ultrasuoni + sclerometro che consente di compensare in parte gli errori commessi usando singolarmente le due metodologie).

<b>PROVA</b>	<b>Costo</b>	<b>Rapidità</b>	<b>Danno str.</b>	<b>Rappresentatività</b>	<b>Affidabilità</b>
<b>Carotaggio</b>	alto	bassa	Moderato	Moderata	buona
<b>Sonde Windsor</b>	medio	alta	Minimo	Superficiale	scarsa
<b>Ultrasuoni</b>	basso	alta	Nullo	Buona	moderata
<b>Sclerometro</b>	minimo	alta	Nullo	Superficiale	scarsa

*Tabella 1 Caratteristiche di alcuni metodi di prova per la determinazione della resistenza del calcestruzzo*

La scelta di un metodo di indagine è spesso condizionata dalla possibilità o meno di produrre dei danni, in caso di limitazioni si è costretti ad utilizzare metodi non distruttivi.

Tuttavia le indagini non distruttive, come le ultrasoniche, non consentono di ottenere una stima attendibile delle caratteristiche meccaniche del conglomerato, sono però affidabili nel definire ambiti omogenei. Occorre quindi effettuare in una prima fase indagini ultrasoniche e in base ai risultati ottenuti impostare in maniera mirata la campagna di carotaggi. Quindi in presenza di prove non distruttive, è necessario procedere a operazioni carotaggi per la calibrazione dei risultati ottenuti dalle misurazioni non distruttive.

In sintesi, lo sclerometro e gli ultrasuoni non producono alcun tipo di danno, sono economici e rapidi, sono ideali per stime di omogeneità e comparative. Possono dunque essere strumenti utilizzati, grazie alla loro



semplicità e rapidità di utilizzo, in una prima fase di valutazione di aree omogenee del calcestruzzo in situ, per delimitare zone di calcestruzzo degradato. Sono tuttavia da accompagnare in punti selezionati da misurazioni come carotaggi per la determinazione della resistenza del calcestruzzo, che siano però sostituiti da strumenti più rapidi e manovrabili come il Resistograph utilizzato per le strutture in legno. Oppure sostituite da tecniche di monitoraggio Pull.Out (Norma UNI EN 12504-3:2005), si tratta di una prova semidistruttiva per la determinazione della forza di estrazione di un inserto metallico inserito nell'elemento in calcestruzzo da sottoporre a prova e stimando la resistenza a compressione mediante la determinazione di tale forza necessaria ad estrarre il tassello metallico.

Il fine è di velocizzare e standardizzare il processo di analisi e valutazione dello stato della struttura esistente, processo che deve precedere in una linea temporale ridotta la fase di installazione della nuova facciata a moduli di LegnAttivo.

## 4.5. Stato di fatto delle superfici di interfaccia

L'indagine sull'edificio, da un punto di vista della resa morfologica, può essere realizzata tramite laser scanner o droni per la creazione di una nuvola di punti. Scopo di questa fase è avere una resa il più vicino possibile alla realtà dell'edificio, con tolleranze che possono arrivare al millimetro. Il modello che si viene a generare serve da base per la modellazione 3D dell'edificio e il proseguimento delle fasi di design delle nuove facciate di progetto.

Tramite laser scanner vi è la possibilità di identificare e quantificare inoltre le non complanarità presenti nella superficie esistente dove verrà installata la facciata prefabbricata (esempio il progetto TES riportato in Figura 10). Comprendere le tolleranze che si hanno sull'esistente risulta di vitale importanza per la progettazione sia del pannello stesso (dimensioni, spessore dello strato di adattamento), sia dei sistemi di ancoraggio e loro regolazioni successive in fase di installazione.

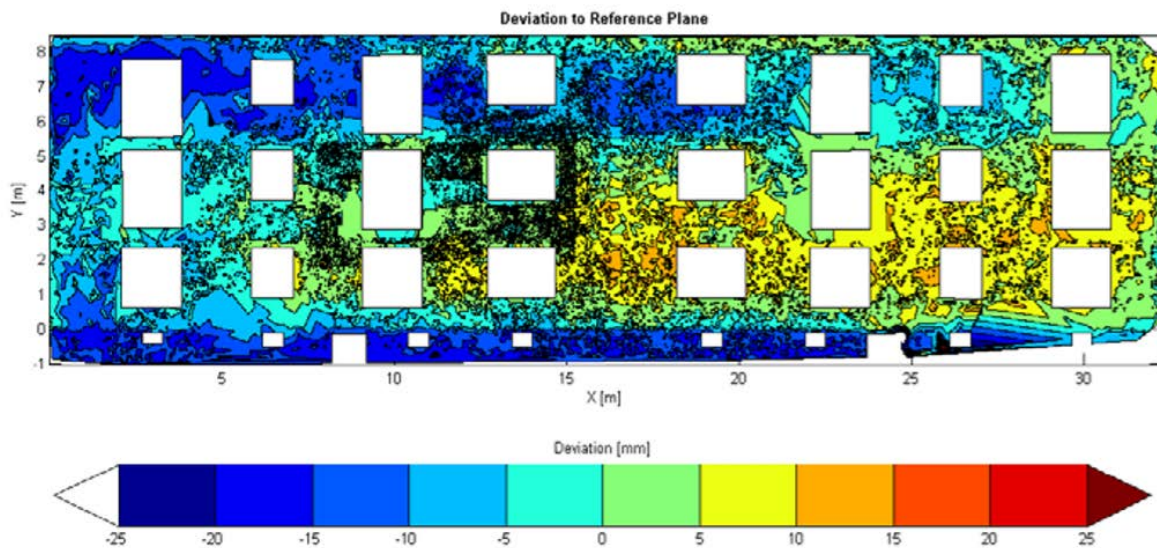
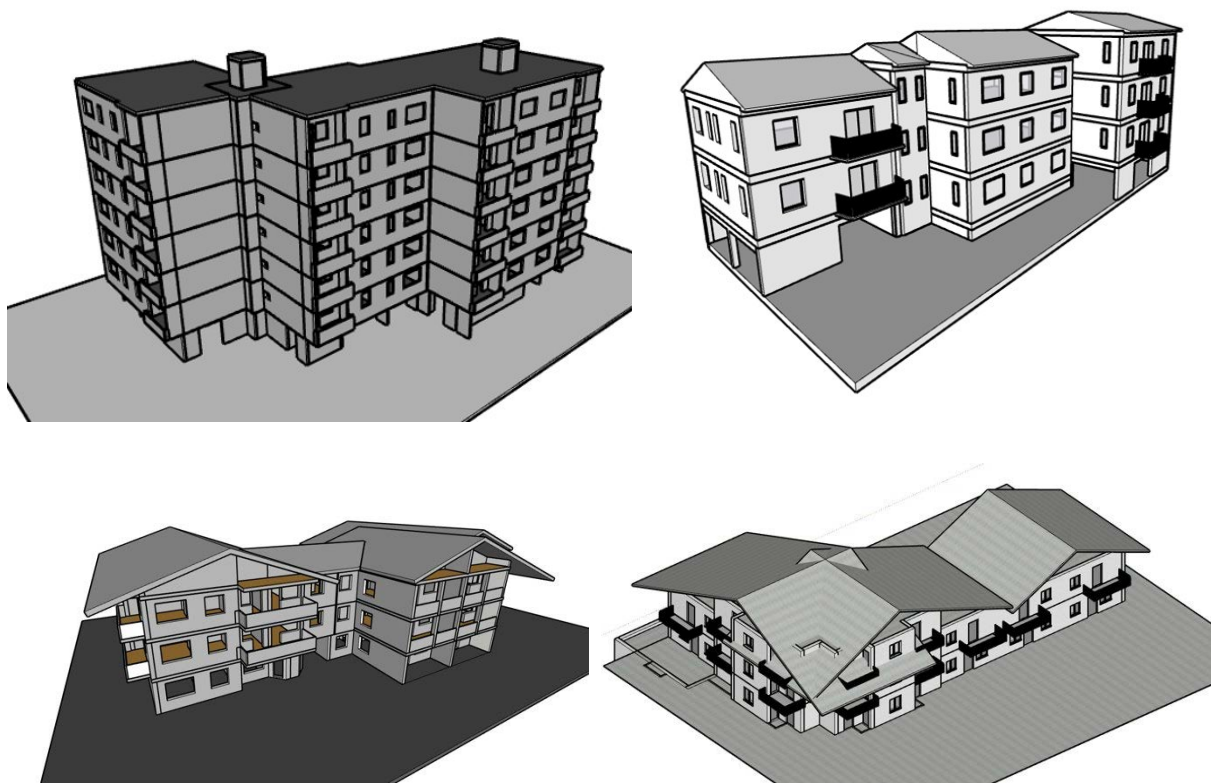


Figura 10 Irregolarità di una facciata con una dimensione di circa 32 x 9 m. La deviazione massima perpendicolare dal piano di superficie è in totale tra i 30 e i 40 mm (TES EnergyFaçade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope 2009)

Il progetto LegnAttivo non ha previsto questo tipo di misurazioni, non occupandosi di un demo reale, ed è passato a una creazione diretta dei modelli 3D per la fase di progetto, basandosi sulla sola documentazione di archivio fornita da IPES.

## 5. Digital workflow

Fin dalle prime fasi del progetto LegnAttivo si è evidenziata la questione di come dovessero essere studiati e rielaborati i modelli digitali degli edifici oggetto di studio. In un'ottica di interoperabilità tra diversi attori sia per la fase di progettazione che nella filiera di produzione, oggi progettare attraverso in BIM aiuta nella comunicazione e lo scambio non solo di informazioni geometriche dell'edificio, ma di una serie di informazioni preziose e parametri appartenenti ad ogni singolo elemento del fabbricato. Il progetto LegnAttivo, tuttavia, non prevedendo la realizzazione di un intervento reale, si limita allo studio del manufatto da un punto di vista puramente geometrico per trarre delle informazioni utili ad un'applicazione dei moduli prefabbricati di progetto in un edificio di riferimento. La documentazione fornita da IPES (pianche, prospetti e sezioni) degli edifici selezionati hanno consentito, con l'aiuto dello studio di architettura Atrium, di elaborare dei modelli geometrici.



*Figura 11 Modelli 3D degli edifici di riferimento, in alto (da sinistra verso destra) Piazza S. Vigilio e Rione S. Antonio, in basso gli edifici di Lagundo e Naturno*

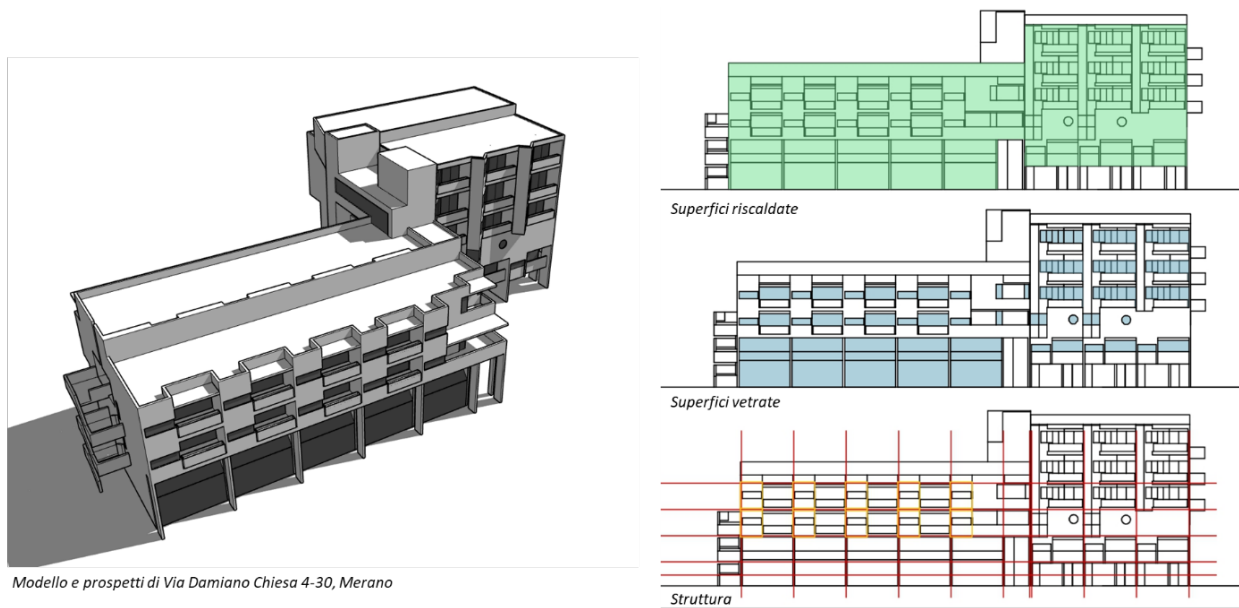
Gli strumenti per la resa grafica sono stati in un primo momento AutoCad per le piante architettoniche, e SketchUp per i modelli 3D (Figura 11). In questa fase di progetto si è concordato che un software di modellazione che lavora con "masse" piuttosto che con elementi parametrici potesse essere sufficiente

per una preliminare analisi del contesto, dei prospetti e della possibile applicazione della soluzione LegnAttivo.



Figura 12 Prospetti degli edifici di riferimento

Sono stati quindi creati i cinque modelli 3D degli edifici di riferimento dai quali si sono ricavati tutti i prospetti (Figura 12). È stata successivamente fatta un'analisi preliminare dei prospetti che comprendesse una prima valutazione delle aree riscaldate, delle aperture, della struttura principale dell'edificio per una valutazione sulla posizione dei sistemi di ancoraggio e infine dei possibili ostacoli, vincoli e oggetti non complanari presenti nelle superfici esistenti dove applicare la facciata prefabbricata (Figura 13).



Modello e prospetti di Via Damiano Chiesa 4-30, Merano

Figura 13 Modello 3D e analisi prliminare dei prospetti dell'edificio sito in via Damiano Chiesa 4-30

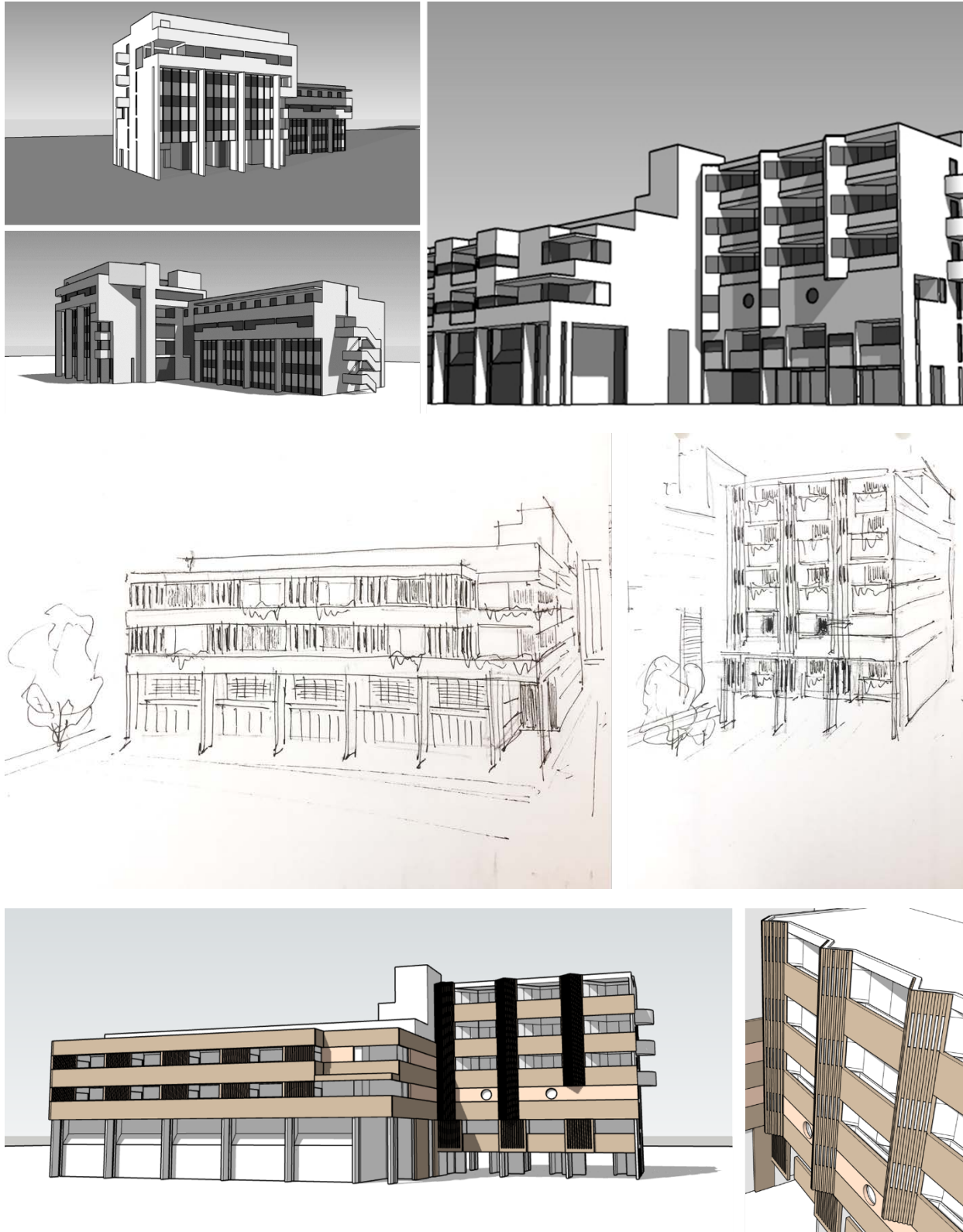


Figura 14 Iter progettuale per ipotesi di applicazione pannelli prefabbricati nell'edificio in Via Damiano Chiesa, Merano

In Figura 14 è riportata un'ipotesi di workflow per la progettazione preliminare dei nuovi prospetti con applicazione di moduli prefabbricati. In questo caso l'edificio oggetto di studio è quello di Via Damiano Chiesa a Merano, edificio tra i più complessi tra quelli selezionati per la sua morfologia, non uniformità dei piani, aperture etc. Il modello geometrico realizzato in una prima fase, gli schemi ed idee architettoniche di possibili applicazioni di moduli prefabbricati ed infine il modello con pannelli ed elementi nuovi della facciata, vogliono solo suggerire un primissimo studio di fattibilità in un intervento con elementi prefabbricati in un contesto come quello di Via Damiano Chiesa.

Uno studio di questo tipo, accompagnato da tutte le verifiche e sopralluoghi descritti nel paragrafo precedente, può aiutare ad evidenziare quali porzioni dei prospetti possono essere risanate con moduli di dimensioni standard stile LegnAttivo, quali con elementi progettati e prefabbricati ad hoc per un contesto di intervento (ad esempio i particolari bow window di Via Damiano Chiesa), quali aree infine di prospetto devono essere invece riqualificate con metodi più tradizionali. Identificare e quantificare metri quadri o una percentuale di prospetto nella quale intervenire con metodi prefabbricati piuttosto che tradizionali può aiutare nelle stime e nelle scelte preliminari di quale percorso intraprendere.

## 6. Analisi delle aree di intervento

Un altro aspetto rilevante per lo studio della geometria dei moduli risulta essere l'analisi del contesto degli edifici da risanare (Figura 11).



Figura 15 Analisi del contesto dell'edificio sito in Piazza S. Vigilio, Merano

Gli elementi analizzati si concentrano sia sull'area circostante che sull'edificio stesso (Figura 12). Alcuni delle informazioni da tenere in conto saranno quindi: le accessibilità al lotto, edifici adiacenti ed alberature, ombre ed esposizione delle facciate, aree di intervento prospicienti l'edificio, etc. Tali informazioni devono aiutare a prevedere o fare una stima delle fasi di cantiere, per agevolare il trasporto e movimentazioni dei moduli, limitando tempi di installazione e costi. Il fine è definire processi che tendano a standardizzarsi nella fase di cantiere e di installazione, in modo tale da definire gli interventi che velocizzano questa fase e comuni in più edifici diversi.

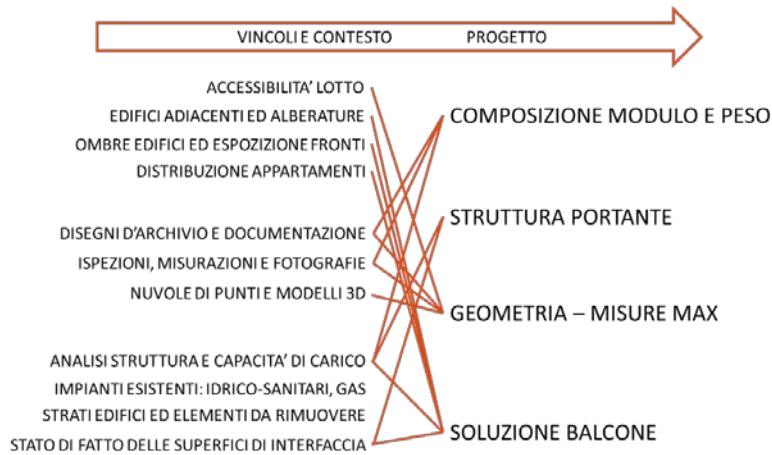


Figura 16 Parametri di contest

## 7. Analisi dei prospetti di intervento

I prospetti dell'edificio sono stati successivamente scomposti per un'analisi più attenta della morfologia dell'edificio oggetto di studio.

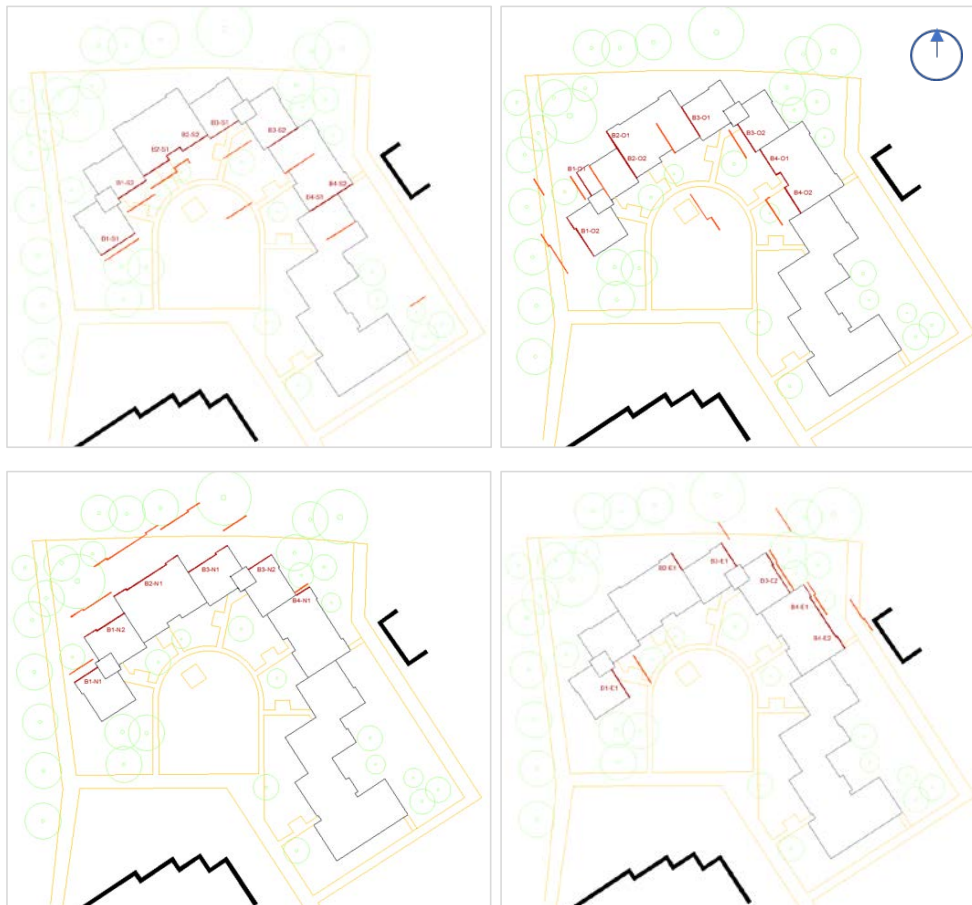
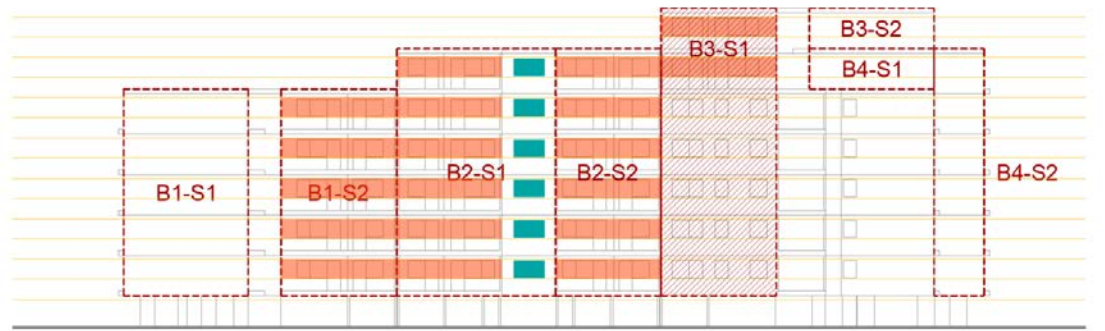
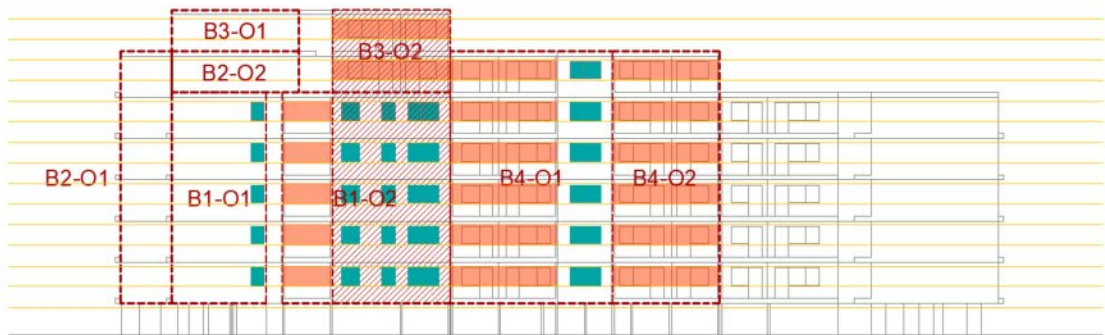


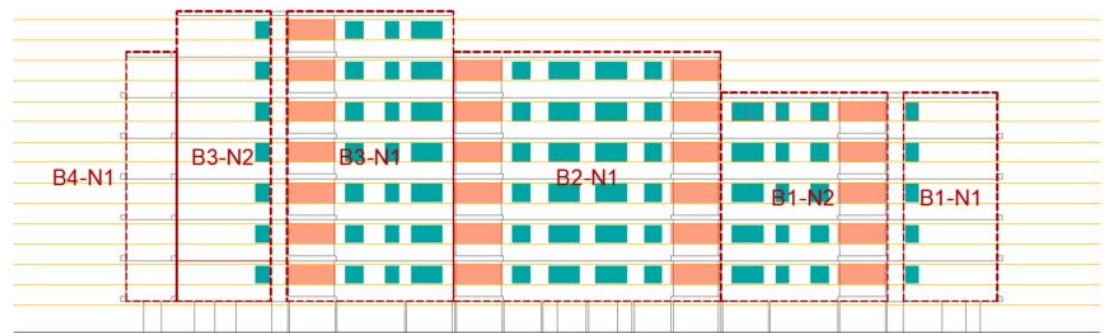
Figura 17 Scomposizione dei prospetti



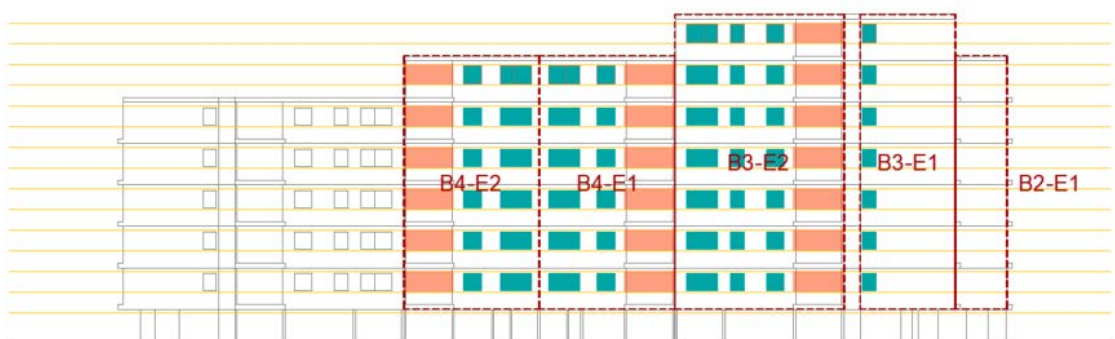
sud



ovest



nord



est

Figura 18 Piazza S. Vigilio - Analisi dei prospetti

Le superfici dei prospetti, rappresentate nelle planimetrie in Figura 5 e suddivise nelle quattro esposizioni dell'edificio (sud-est, sud-ovest, nord-ovest, nord-est), sono state ulteriormente scomposte in aree complanari. L'intenzione è di isolare tutte le porzioni di un determinato prospetto dell'edificio che presentino delle condizioni al contorno simili. Per identificare le condizioni perimetrali delle porzioni di prospetto si è tenuto conto degli accessi, la complanarità delle aree di intervento in facciata, la presenza di ostacoli nell'area di intervento (es. alberi ed edifici) e la distanza di tali ostacoli dalla superficie dei prospetti dove verranno installati i moduli di facciata prefabbricati.

In Figura 6 sono riportati i quattro prospetti dell'edificio oggetto di studio. Nei prospetti sono evidenziate le aree precedentemente descritte e tramite un codice identificativo vengono tabellate in una fase successiva (vedi Tabella 2).

	B1						
	Sud		Ovest		Nord		Est
	B1-S1	B1-S2	B1-O1	B1-O2	B1-N1	B1-N2	B1-E1
n. piani	5	5	5	5	5	5	5
h interpiano	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06
h finestre	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
l finestra 1	0	0	1	1.3	0	2.3	0
l finestra 2	0	0	0	1	0	1	0
l finestra 3	0	0	0	2.3	0	1.3	0
l finestra 4	0	0	0	0	0	0	0
offset iso sottofinestra	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
offset iso soprafinestra	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
offset iso lato sx	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
offset iso lato dx	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Piano tipo</b>							
Sup. lorda	28.92	26.84	21.51	38.25	21.51	38.22	29.99
Sup. vetrata	0	0	1.3	5.98	0	5.98	0
Sup. opaca	28.92	26.84	20.21	32.27	21.51	32.24	29.99
Sup. vincolata	0	13.2	0	5.58	0	5.58	13.15
Sup. di intervento	28.92	13.64	20.21	26.69	21.51	26.66	16.84
% di intervento	100%	51%	100%	83%	100%	83%	56%
<b>Aree totali</b>							
Sup. lorda	144.6	134.2	107.55	191.25	107.55	191.1	149.95
Sup. finestre	0	0	6.5	29.9	0	29.9	0
Sup. netta	144.6	134.2	101.05	161.35	107.55	161.2	149.95
Sup. vincolata	0	66	0	27.9	0	27.9	65.75
Sup. di intervento	144.6	68.2	101.05	133.45	107.55	133.3	84.2
distanza ostacolo	1.75	4.31	1.9	8.22	2.51	6.49	6.89
Lmax fascia sottofinestra	9.45	8.77	7.03	8.77	7.03	8.77	8.69
L max tra finestre	-	-					
L min tra finestre	-	-					
H fascia finestre	0	1.5	1.5	1.5	0	1.5	1.5
H fascia sottofinestra	3.06	1.56	1.56	1.56	3.06	1.56	1.56
peso specifico pannello	60	60	60	60	60	60	60

Tabella 2 Classificazione dei parametri



## 8. Conclusioni

La Tabella 2 ha una funzione ben precisa, individuare una serie di parametri dettati dal contesto di intervento e dalle caratteristiche del prospetto che delineino dei limiti dimensionali dei moduli prefabbricati. Attraverso uno studio di tutti i prospetti dell'edificio di intervento si possono identificare dei range dimensionali che si ripetono in più aree, questo workflow porta ad una individuazione di alcuni parametri che guidano la scelta progettuale e standardizzano le dimensioni dei pannelli. Come si è detto nel paragrafo precedente individuare delle porzioni, quantificare delle aree in cui poter intervenire con sistemi prefabbricati piuttosto che con interventi tradizionali, diventa di vitale importanza per una stima preliminare sulla fattibilità o meno nel procedere con un tipo di risanamento come quello ideato nel progetto LegnAttivo. Un passo successivo è stato parametrizzare tutti questi valori individuati e automatizzare le risposte e i risultati richiesti sulle caratteristiche dei pannelli di progetto. Il partner FHI nel progetto LegnAttivo ha lavorato in questo senso per la creazione di un algoritmo e tool con il fine di standardizzare le scelte e le caratteristiche morfologiche dei moduli in base a input provenienti da edifici oggetto di studio. Il tool viene spiegato dal partner FHI nel report che segue.