

# FORUM LEGNO EDILIZIA ITALIA

**10° Forum dell'Edilizia in Legno**

**20 - 21 settembre 2022**

**Centro Congressi | Hotel Parchi del Garda, Lazise sul Garda (VR)**

**Costruzioni in legno: Dalla pratica alla pratica!**

BFH BIEL  
TH ROSENHEIM  
NI AALTO HELSINKI  
TU MUNCHEN  
C PRINCE GEORGE  
TU WIEN  
UNI TRENTO

Editore: FORUM **HOLZBAU**  
Bahnhofplatz 1  
2502 Biel/Bienne  
Svizzera  
T +41 32 327 20 00

Revisione: FORUM **HOLZBAU** | Katja Rossel | Simone Burri | Katharina Uebersax

Contatto: FORUM **HOLZBAU** Italia | timbertrend e.U.  
Hugo Karre  
Auenweg 2  
9813 Möllbrücke  
Austria  
T +43 660 144 20 20

Stampa: Petz Druck GesmbH  
Körnerstraße 3  
9800 Spittal an der Drau  
Austria  
T +43 4762 2543

Edizione: 280 Ex.

© 2022 by FORUM **HOLZBAU**, Biel/Bienne, Svizzera  
ISBN 978-3-906226-47-7

[www.forum-holzbau.com](http://www.forum-holzbau.com) | [www.forum-holzkarriere.com](http://www.forum-holzkarriere.com)

## Moderatori

### **Prof. Dr. Bernasconi Andrea**

HEIG-VD  
Route de Cheseaux 1  
CH- 1401 Yverdon-les-Bains

+41 24 557 63 46  
anbern@bluewin.ch

### **Ing. Giongo Ivan**

Università di Trento  
Via Mesiano 77  
IT- 38050 Trento

+39 0461 282 543  
ivan.giongo@unitn.it

### **Karre Hugo**

FORUM HOLZBAU  
Auenweg 2  
AT- 9813 Möllbrücke

+43 4769 233 641  
hk@timbertrend.at

### **Geom. Mosconi Giuseppe**

CQ - Quality Building  
Via Santa Teresa 12  
IT- 37135 Verona

+39 045 800 25 16  
formazione@lineaecoklima.it

### **Prof. Piazza Maurizio**

Università di Trento  
Via Mesiano 77  
IT- 38050 Trento

+39 0461 882 535  
maurizio.piazza@unitn.it

## Relatori

### **Arch. Cruciani Valerio**

Urban-Gap  
Via Arturo Calza 8  
IT- 00157 Rom

+39 3498 368 815  
Info@urban-gap.it

### **Arch. Da Col Raimondo**

Waugh Thistleton Architects  
77 Leonard Street  
GB- EC2A 4QS London

+44 2076 135 727  
raimondo@waughthistleton.com

### **Ing. Gravagnuolo Antonia**

CNR IRISS  
Via Guglielmo Sanfelice 8  
IT- 80134 Napoli

+39 0812 470 996  
a.gravagnuolo@iriss.cnr.it

### **Karre Hugo**

FORUM HOLZBAU  
Auenweg 2  
AT- 9813 Möllbrücke

+43 4769 233 641  
hk@timbertrend.at

### **Ing. Manzi Enrico**

Enrico Manzi - Ingegneria Acustica  
Via Kennedy 34/A  
IT- 40068 San Lazzaro di Savena

+39 346 311 47 98  
info@enricomanzi.it

### **Dott. Mezzomo Luca**

Intesa Sanpaolo / Research Dep.  
Via Romagnosi 5  
IT- 20121 Milano

+39 335 569 68 73  
luca.mezzomo@intesanpaolo.com

### **MSc Milano Francesco**

knippershelbig GmbH  
Tübinger Strasse 12-16  
DE- 70178 Stuttgart

+49 7112 483 93 60  
mln.frncsc@gmail.com

### **Ing. Miorin Thomas**

EDERA Srl.  
Via Bergognone 34  
IT- 20144 Milano

+39 348 706 76 56  
thomas@edera.city

**Ing. Piva Franco**

Ergodomus Timber Engineering  
Loc. Fratte 18/4  
IT- 38057 Pergine Valsugana  
+39 328 577 71 84  
franco@ergodomus.it

**Ass.Prof. Prada Alessandro**

Università di Trento  
Via Mesiano 77  
IT- 38050 Trento  
+39 340 842 13 78  
alessandro.prada@unitn.it

**Arch. Salvi Michele**

Zaha Hadid Architects  
101 Goswell Road  
GB- EC1V 7EZ London  
+44 20 7253 5147  
michele.salvi@zaha-hadid.com

**Ing. Schrentewein Thomas**

Lignaconsult Holzbauingenieure  
Via L. Negrelli 13/C  
IT- 39100 Bolzano  
+39 0471 058 040  
info@lignaconsult.com

**Ing. Zuech Nicola**

Supernova Srl.  
Viale Della Stazione 5  
IT- 39100 Bolzano  
+39 348 903 02 58  
n.zuech@heliopolis.eu

## Master Colloquium

**Casesa Raniero L.**

ranierolee.casesa@gmail.com

**Gelmetti Sofia**

sofia.gelmetti@studenti.unitn.it

**Kazmiruk Mykhaylo**

mykhaylo.kazmiruk@gmail.com

## Contenuto

Tempi impegnativi per l'edilizia e le sfide del futuro	
<b>Il contesto macroeconomico e le prospettive del settore delle costruzioni</b>	09
<i>Luca F. Mezzomo, Intesa Sanpaolo – Direzione Studi e Ricerche, Milano, Italia</i>	
<b>Rigenerare città e costruire in legno: il caso della ex Marangoni di Rovereto</b>	17
<i>Nicola Zuech, Infrastructure Engineering Area &amp; Real estate development, Supernova, Italia</i>	
<b>Value engineering, modello digitale DfMA: come rendere il legno la migliore soluzione</b>	27
<i>Franco Piva, Ergodomus Timber Engineering, Pergine Valsugana (TN), Italia</i>	
Influenze esterne: Punti delicati nella pianificazione	
<b>Pregiudizi e fatti sulle prestazioni estive delle costruzioni in legno</b>	37
<i>Alessandro Prada, Università di Trento, DICAM, Trento, Italia</i>	
<b>Riqualificazione profonda e industria-lizzata. L'esperienza di Energiesprong Italia.</b>	47
<i>Thomas Miorin, Edera Srl, Milan, Italia</i>	
<b>Come proteggere l'edificio in legno dai rumori esterni</b>	61
<i>Enrico Manzi, Ingegneria Acustica, Bologna, Italia</i>	
Uno sguardo al futuro	
<b>ZHA Design and research on wood</b>	75
<i>Michele Salvi, Senior Associate @ Zaha Hadid Architect, London, UK</i>	
<b>Sistema strutturale ibrido (legno+FRP) per copertura di ampie luci</b>	85
<i>Francesco Milano, University of Stuttgart, Knippershelbig, Stuttgart, Germany</i>	
Il continuo sviluppo delle costruzioni in legno	
<b>WTA-Evoluzione delle costruzioni in legno</b>	97
<i>Raimondo Da Col, Waugh Thistleton Architects, London/Madrid</i>	
<b>Soluzioni strutturali in legno per sopraelevazioni ed edifici multipiano</b>	105
<i>Thomas Schrentewein, Lignaconsult Timber Engineers, Bolzano, Italia</i>	
<b>Philip Morris Institute for Manufacturing Competences (IMC)</b>	113
<i>Valerio Cruciani, Urban-gap, Roma, Italia</i>	
Master Colloquium	
<b>Approccio parametrico-generativo alla progettazione di strutture lignee. Caso studio di un Workshop Center a Gamla Stan, Stoccolma.</b>	119
<i>Mykhaylo Kazmiruk, Università degli Studi di Trento, Trento, Italia</i>	
<b>Pareti di taglio a telaio leggero in legno dotate di dispositivo ricentrante</b>	141
<i>Raniero Leendert Cases, Università degli studi di Trieste, Trieste, Italia</i>	
<b>Analisi sperimentali su interventi di rinforzo sismico per edifici esistenti in c.a</b>	151
<i>Sofia Gelmetti, Università degli Studi di Trento, Trento, Italia</i>	



**Mercoledì 21 settembre 2022**

**Tempi impegnativi per l'edilizia  
e le sfide del futuro**



# **Il contesto macroeconomico e le prospettive del settore delle costruzioni**

Luca F. Mezzomo  
Intesa Sanpaolo – Direzione Studi e Ricerche  
Milano, Italia





# Il contesto macroeconomico e le prospettive del settore delle costruzioni

Il settore italiano delle costruzioni ha attraversato una fase congiunturale eccezionale, fra 2020 e 2022. Una combinazione di fattori, che includono condizioni finanziarie accomodanti, stimoli fiscali abnormi e un notevole eccesso di liquidità accumulato dal settore delle famiglie durante la crisi pandemica hanno fatto sì che nell'ultimo anno il vincolo più stringente all'attività fosse rappresentato dalla capacità produttiva e dalla disponibilità di manodopera e materiali, piuttosto che dalla domanda. Ebbene, tale quadro sta ora cambiando da tutti i punti di vista e bisogna prepararsi a un periodo di consolidamento.

## 1. Verso un rallentamento dell'economia europea, ma anche ulteriori rialzi dei tassi di interesse

L'economia italiana è ormai arrivata a un punto di svolta, dopo circa due anni di ripresa dalla crisi pandemica.

Nel secondo trimestre 2022 il PIL dell'Italia è tornato a superare i livelli precedenti la pandemia, anche al netto dell'inflazione. Anche se la ripresa è stata più rapida del previsto, il trionfalismo è fuori luogo: in termini reali, il livello del PIL resta inferiore a quello del 2008, e le condizioni di vita della popolazione residente sono peggiorate ancor di più. Il recupero post-pandemico è avvenuto grazie agli investimenti fissi, con un contributo venuto anche dai consumi pubblici. Invece, i consumi sono di 8 miliardi inferiori al livello di fine 2019, in larga misura a causa dei servizi, e la crescita delle importazioni è stata di 16 miliardi, contro i 6,7 miliardi dell'export.

La crisi energetica legata alla guerra russo-ucraina, innestatasi su precedenti tensioni delle materie prime dovuta a una ripresa troppo tumultuosa della domanda di beni dopo la crisi pandemica, ha attivato una fase di rialzo dei prezzi di inusuale intensità. L'inflazione sta erodendo i margini delle imprese utilizzatrici di energia e il potere d'acquisto delle famiglie. La reazione delle banche centrali sta portando a rialzi dei tassi di interesse, che continueranno fino alla normalizzazione dell'inflazione e potrebbero essere molto rapidi.

### 1.1. La crisi energetica peggiora le prospettive economiche europee ed italiane

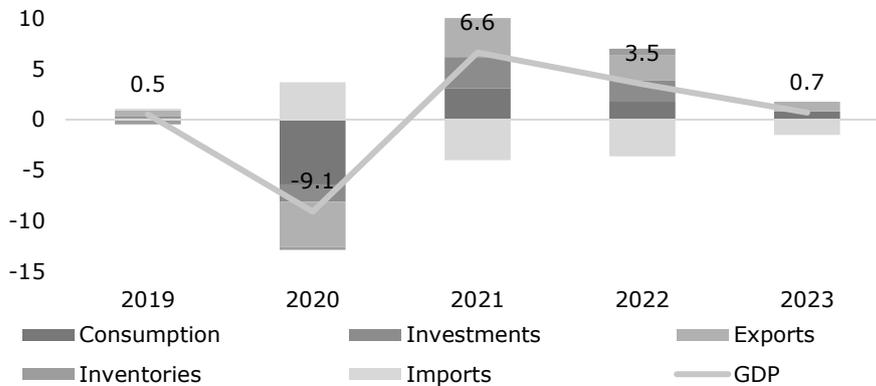
Il rialzo del prezzo del petrolio e del gas ha avuto l'immediata conseguenza di peggiorare la bilancia commerciale italiana di circa 15 miliardi al trimestre, che significa circa il 3% del PIL su base annua. Questo è un drenaggio netto di risorse a vantaggio degli esportatori di idrocarburi, che rientrerà soltanto in piccola parte sotto forma di maggiore domanda di beni e servizi esportati. Sul fronte della domanda interna l'impatto è stato mitigato inizialmente da una serie di ammortizzatori: la presenza di contratti a lungo termine per la fornitura di energia, la riduzione della propensione al risparmio delle famiglie (che ha liberato 36 miliardi di domanda), e le misure fiscali adottate dal governo italiano, che ammontano a oltre il 2,7% del PIL in termini lordi.

Attualmente prevediamo un rallentamento della crescita economica già nel trimestre in corso, anche se i mesi estivi sono stati sostenuti da un ottimo andamento del comparto turistico che in parte compenserà l'indebolimento dell'industria. Il rallentamento è destinato ad approfondirsi più marcatamente nel trimestre autunnale, quando dovrebbero emergere con maggiore evidenza i danni dello strabiliante rincaro dell'energia avvenuto negli ultimi mesi. Ci aspettiamo una marginale contrazione del PIL sia nel 4° trimestre, sia nel 1° trimestre 2023.

Il 2023 si preannuncia come un anno di bassa crescita, se non addirittura di recessione. Le esportazioni saranno frenate dal rallentamento della domanda estera, in particolare tedesca; i consumi dall'erosione di potere d'acquisto dovuta a un'inflazione largamente

superiore all'incremento delle retribuzioni; gli investimenti fissi, sebbene sostenuti dai progetti del PNRR, risentiranno di condizioni finanziarie più restrittive, di minori margini di profitto e di maggiore incertezza sull'andamento futuro della domanda. Prevediamo attualmente una crescita media annua di 0,7%, inferiore alla stima di consenso (1,1%).

Figura 1: andamento storico e previsto del PIL italiano (variazione % a/a)



Fonte: proiezioni Intesa Sanpaolo ed elaborazioni di dati Istat.

Le elezioni del 25 settembre hanno anticipato di qualche mese l'incertezza sul futuro della politica economica che si sarebbe materializzata comunque entro la prossima primavera. I sondaggi suggeriscono che potrebbe emergere dal voto un'ampia maggioranza di centro-destra, che ha presentato un programma orientato alla riduzione della pressione fiscale, senza però esplicitare come sarà finanziato (a parte un parziale smantellamento delle misure di sostegno ai redditi introdotte negli anni passati). Lo spazio di manovra sarà molto ristretto: i mercati sono molto meno disposti a concedere credito, ora che la politica monetaria è entrata in una fase restrittiva e la crescita sta rallentando. Ci si attende dall'Italia una riduzione del deficit, non un aumento, nonché una focalizzazione sulle riforme e i progetti del PNRR, non la dispersione di energie e risorse. Il fatto che uno dei partiti della coalizione fosse al governo sia durante la crisi del 2011, sia durante quella del 2018, non favorisce la concessione di fiducia in via preventiva. Passi falsi sul fronte delle politiche di bilancio potrebbero avere un costo molto elevato, come dimostrano le esperienze del 2011 e del 2018. Non dimentichiamoci che le recessioni associate a crisi finanziarie sono seguite da riprese lente e difficili.

## 1.2. I prezzi: parziale allentamento delle tensioni, ma non per l'energia

Venendo all'inflazione, il rallentamento globale della domanda sta allentando le tensioni sulle catene globali di fornitura e sui trasporti marittimi internazionali. Gli indici sugli ordini arretrati stanno migliorando e il costo di spostare container attraverso gli oceani sta calando. Però restano forti tensioni sui prezzi del gas naturale in Europa, in quanto l'offerta russa è stata tolta dal mercato, l'UE sta rastrellando gas da altri fornitori esteri e il calo della domanda di energia è stato finora troppo limitato. I prezzi del gas sono destinati a rimanere molto elevati, in quanto nei prossimi mesi è probabile uno stop totale delle forniture russe e crescerà la domanda asiatica di gas. Di riflesso, anche i prezzi dell'elettricità resteranno elevati, anche se meccanismi per ridurre il legame con il prezzo del gas potrebbero ridurre la volatilità. Inoltre, alcuni comparti, come le costruzioni, appaiono oggi caratterizzati da eccesso di domanda, che mantiene pressioni sui costi.

Attualmente siamo in una fase in cui dovrebbe rallentare il contributo dell'energia all'inflazione, mentre sta aumentando quello di altri beni e servizi. Si sta osservando la trasmissione ai prezzi finali dei rincari dei costi, ma anche una revisione dei listini nei servizi, come accoglienza e ristorazione, con la ripresa della domanda. L'inflazione sarà quest'anno su livelli che non si vedevano da oltre 40 anni, intorno all'8% medio; l'anno prossimo calerà, ma è prevista su livelli (4,6%) ancora molto superiori agli obiettivi della BCE.

### 1.3. I tassi di interesse reali saliranno, e le condizioni del credito saranno meno accomodanti

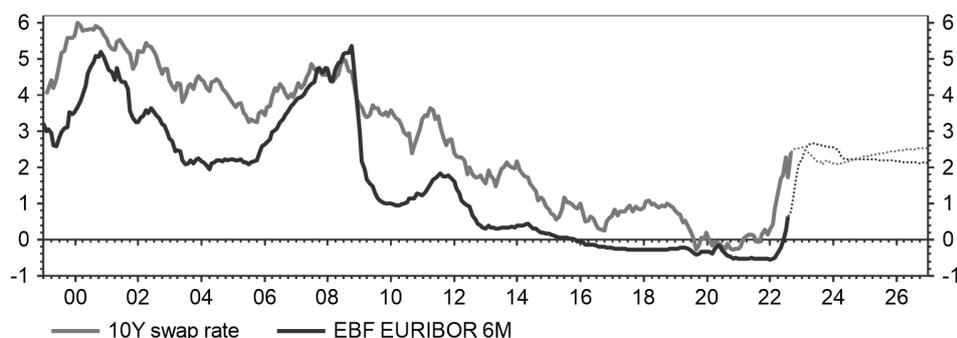
Questo ci porta al terzo tema macroeconomico trasversale importante: la restrizione delle condizioni finanziarie, già avviata.

La BCE ha già interrotto gli acquisti di titoli obbligazionari pubblici e privati, anche se sta per ora continuando a reinvestire quando scade. A luglio ha eliminato i tassi negativi, alzando i tassi ufficiali di 50 punti base. Ora il tasso guida, il tasso sui depositi, è tornato a zero. La persistenza dell'inflazione implica che la Bce si muoverà piuttosto rapidamente nei prossimi mesi per rendere i tassi reali di interesse meno negativi: i mercati si attendono complessivamente 150 punti base di rialzo entro fine 2022, seguiti da altri 50 punti base a inizio 2023. Si badi che questa è una visione che sconta l'ipotesi che la crisi energetica faccia rallentare drasticamente la domanda a fine 2023, che le imprese non trasferiscano troppo aggressivamente i rincari dei costi, e che l'aumento dei salari non recuperi tutto il potere di acquisto perduto. Se l'inflazione non calasse quanto previsto, i tassi salirebbero di più, malgrado il rischio di recessione.

Aggiungo che l'eccesso di liquidità creato negli ultimi anni si ridurrà drasticamente entro il 2024, con il rimborso delle operazioni di rifinanziamento a lungo termine note come TLTRO. Ciò avrà ripercussioni sul costo medio della raccolta bancaria, accentuando la restrizione delle condizioni applicate sul credito.

Per il comparto delle costruzioni, conta anche come si muoveranno i tassi a più lungo termine e le condizioni del credito. La risposta dei tassi a medio e lungo termine dipenderà dalle aspettative sul punto di arrivo del ciclo di rialzi. Per ora, i mercati lo collocano al 2,0-2,25%, e se sarà raggiunto rapidamente e si rivelasse sufficiente a garantire la riduzione dell'inflazione, l'aumento dei tassi a lungo termine potrebbe essere limitato (v. fig. 2). Tuttavia, ciò non è per nulla garantito. Se l'andamento dell'inflazione continuasse a essere sfavorevole potrebbe salire e trascinare con sé i tassi a lungo termine, che salirebbero ben più di quanto oggi atteso.

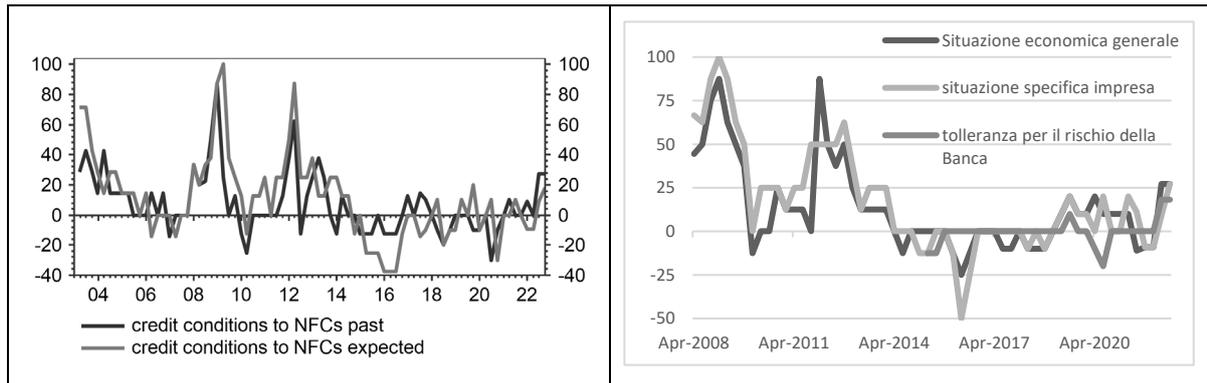
Figura 2: andamento storico e previsto dei tassi di interesse



Fonte: Refinitiv Datastream e proiezioni Intesa Sanpaolo

Infine, dobbiamo attenderci una restrizione delle condizioni creditizie: rialzo dei tassi, rallentamento dell'economia e peggiori prospettive del mercato immobiliare aumentano le probabilità di insolvenza attese e spingono le banche a chiedere premi per il rischio di credito più elevati. Il processo è già iniziato, reso più celere dall'introduzione di sistemi di controllo del rischio di credito che oggi sono più *forward looking* di una volta. Come al solito, inizialmente colpirà le imprese finanziariamente più fragili. È bene che le imprese non sottovalutino i rischi connessi a una situazione patrimoniale fragile e un eccesso di leva finanziaria in un contesto di rialzo dei tassi e di aumento dell'avversione per il rischio come quello attuale.

Figure 3: diversi fattori spingono per una restrizione delle condizioni creditizie



Fonte: BCE e Banca d'Italia. Nota: nel grafico a sinistra numeri positivi indicano prevalenza di imprese che restringono le condizioni del credito. Nel grafico a destra, la quota netta di banche per le quali il fattore indicato spinge verso una restrizione delle condizioni creditizie.

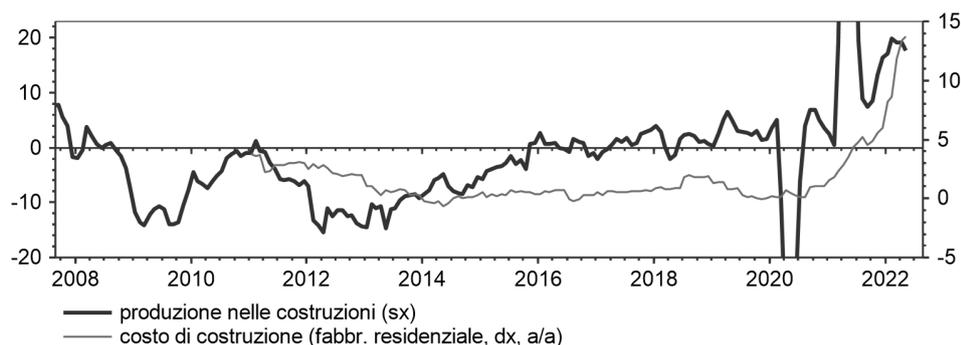
## 2. Gli investimenti in costruzioni residenziali: tendenze recenti e prospettive

### 2.1. Un *boom* postpandemico frenato più da limiti di capacità che di domanda

L'andamento delle costruzioni residenziali è stato molto brillante negli ultimi due anni. A prezzi costanti, gli investimenti sono passati dai circa 18 miliardi trimestrali di fine 2020 a 22,7 miliardi nel primo quarto del 2022. L'incremento della spesa in costruzioni residenziali da solo spiega 0,9 punti di crescita annua del PIL, a cui si aggiunge un contributo circa analogo delle costruzioni non residenziali. Rispetto al totale degli investimenti fissi lordi, la spesa in costruzioni residenziali è salita dal 22% del 2019 al 25%.

Come per altri aspetti dell'economia italiana, il boom del 2021-22 non è bastato a recuperare i livelli precedenti la grande crisi finanziaria e la crisi del debito, che a prezzi costanti erano tra i 25 e i 27 miliardi a trimestre. Tuttavia, la velocità e l'estensione della ripresa hanno comunque creato criticità sul fronte della disponibilità di materiali e di manodopera, creando forti pressioni al rialzo sui costi di produzione (v. fig. 3).

Figura 4: produzione nelle costruzioni e costo di costruzione di un edificio residenziale



Fonte: Istat

I motori della ripresa sono individuabili in una combinazione inusuale di eccezionale stimolo fiscale, condizioni finanziarie accomodanti e ampie disponibilità liquide di una parte delle famiglie italiane.

Il controverso meccanismo del superbonus 110%, introdotto nel 2021, è associato a investimenti ammessi a detrazione per ben 39,7 miliardi fino a luglio 2022, di cui 28,1 miliardi già conclusi, con un onere per lo Stato di ben 43,7 miliardi di euro.

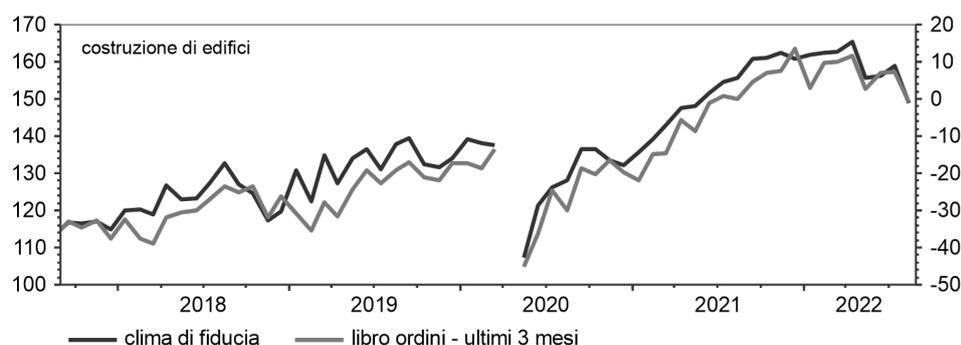
I tassi di interesse reali sono stati mantenuti per lungo tempo su livelli negativi dalla Banca Centrale Europea, mentre la ripresa economica e la migliore situazione finanziaria di imprese e banche hanno ridotto i premi per il rischio.

Infine, la ricchezza finanziaria delle famiglie italiane è salita di 780 miliardi tra fine 2019 e fine 2021, di cui 203 miliardi parcheggiati in conti bancari a vista. Una parte del flusso di extra-risparmio osservato durante la pandemia, e dovuto alla compressione della spesa in servizi, ha alimentato la ripresa del mercato immobiliare, che ha interessato transazioni e prezzi.

## 2.2. Le prospettive: i motori della domanda sono destinati a perdere spinta nel 2023

Negli ultimi mesi, l'indagine Istat ha rilevato un clima un po' meno positivo tra le imprese impegnate nella costruzione di edifici: l'indice di fiducia, che resta comunque elevato, è calato a 148,9 in agosto, 17 punti sotto il massimo di aprile. Il giudizio sul libro ordini, in particolare, è peggiorato nettamente.

Figura 5: clima di fiducia nelle costruzioni e giudizio sul libro ordini (edifici)



Fonte: Istat

I dati sulla produzione di intermedi per l'industria relativi al secondo trimestre, intanto, mostrano una netta flessione della produzione di cemento, calce e gesso (Ateco 235) e di elementi di costruzione in metallo (Ateco 251), segnale che la crisi energetica sta iniziando a incidere sulla produzione interna. Ciò potrebbe limitare il potenziale di crescita nel breve termine. Inoltre, crescono le spinte sui costi: l'indice Istat sul costo di costruzione dei fabbricati residenziali ha registrato una netta accelerazione negli ultimi mesi, come evidente dalla figura 3.

I segnali di indebolimento della congiuntura non sono episodici, a mio giudizio. Ci sono almeno 3 tendenze che freneranno l'attività nel 2023: il rallentamento dell'economia, la restrizione delle condizioni finanziarie, e il ridimensionamento degli stimoli fiscali.

Della probabile contrazione dell'economia tra fine 2022 e inizio 2023 si è detto sopra. Per le prospettive delle condizioni finanziarie si rimanda a quanto scritto nel §1.3. Queste due tendenze dovrebbero portarsi dietro anche un indebolimento del mercato immobiliare.

Il terzo fattore che fornirà meno supporto è quello fiscale. Sul fronte degli incentivi, il meccanismo del superbonus è fortemente distortivo, non è sostenibile e non apporta benefici sociali proporzionati ai costi ingenti che ricadono sul bilancio dello stato. Aggiungo che il nuovo governo dovrà operare in condizioni di mercato che renderanno molto difficile ricorrere a nuovo deficit, malgrado la sospensione del patto di stabilità, e dovrà essere molto selettivo nell'attuazione delle molte promesse fatte durante la campagna elettorale. L'inevitabile ritorno a regimi di incentivazione più sostenibili sarà accompagnato da un ritorno dell'attività a livelli anch'essi più normali, che comporteranno a nostro giudizio un calo degli investimenti in costruzioni residenziali rispetto a un 2022 anomalo e irripetibile.



# Rigenerare città e costruire in legno: il caso della ex Marangoni di Rovereto

Nicola Zuech  
Engineer Technical Director  
Infrastructure Engineering Area &  
Real estate development  
Supernova, Italia





# Rigenerare città e costruire in legno: il caso della ex Marangoni di Rovereto

## 1. *Rinascita Maragoni*, eccellenza nella rigenerazione sostenibile

Le aree di rigenerazione urbana che la società Supernova ha in pipeline per la valorizzazione, si trovano nel cuore di diverse città in Italia. Molto spesso queste aree sono inquinate e abbandonate da tempo e, vista la delicatezza del tema, sono sempre oggetto di grande interesse, sia da parte dei cittadini, sia delle amministrazioni territoriali.

Tuttavia, negli anni, per molte di queste realtà la sfera pubblica non è riuscita a offrire una soluzione di rigenerazione conveniente e sostenibile ed in questo specifico contesto emerge la necessità di un nuovo rapporto pubblico-privato. La vicenda di Marangoni vuole essere un esempio virtuoso da condividere.

Rovereto, con i suoi circa 40.000 abitanti, è la seconda città della provincia trentina, conta alcune realtà di eccellenza e rilievo internazionale oltre alle numerose start-up. La città richiama interesse anche per la vicinanza al capoluogo, al Lago di Garda ed alle stazioni montane circostanti, fattori che ne potenziano l'attrattività.

La Ex-Marangoni si trova in via dell'Abetone (S.S.12) n° 51 a Rovereto, tra la S.S.12, via del Garda e via Benacense II. L'area ha una superficie di 18.100 mq.

Il compendio – dismesso dal 2007 – era composto da tre fabbricati costruiti attorno al 1970 e riconducibili all'attività industriale «Marangoni Meccanica» che produceva macchinari per la vulcanizzazione della gomma.





Rilievo fotografico del 2017

Il compendio della ex-Marangoni era composto da vari corpi di fabbrica, con una superficie complessiva coperta di circa 10.000 mq ed un volume vuoto per pieno pari a 90.000 mc. La copertura degli edifici produttivi erano tutti in lastre di cemento-amianto in via di sfaldamento.

In soli 4 anni la città ha beneficiato di una grande trasformazione: da un'area industriale abbandonata e inquinata, Rovereto ha guadagnato un quartiere sostenibile e infrastrutturato con nuove funzioni. È il racconto di nuovo luogo rigenerato composto da quattro capitoli: il vivere, il lavorare, il giocare nel verde e una nuova mobilità sostenibile.

*Rinasce Marangoni* è composto da immobili con funzioni diverse:

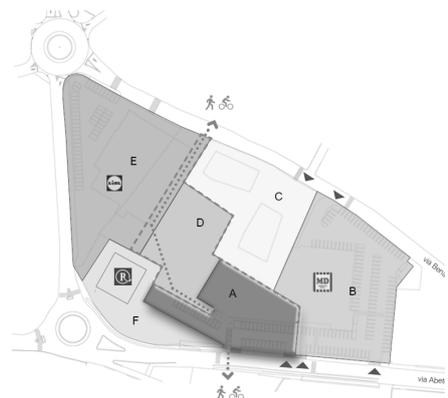
- spazi commerciali (c.a. 7.000 mq e i rispettivi parcheggi pertinenziali)
- area residenziale di social housing, di c.a. 6.000 mq
- il parco urbano attrezzato di c.a. 5.000 mq.

Per la parte di **social housing**, Rovereto può vantare la costruzione dell'edificio più alto d'Italia costruito interamente in legno, due immobili di 5 e 9 piani, di cui il più alto è di 30 mt, per 68 appartamenti con tagli diversificati. L'ampio **parco** ha una funzione di connessione degli spazi del comparto, una parte è a raso con la strada e i parcheggi, mentre la seconda è leggermente inclinata e si appoggia sulla superficie di copertura degli spazi commerciali, minimizzando l'impatto visivo ed esaltando l'integrazione con il contesto.

Come prima scelta strategica, fin da subito, Supernova ha scelto di ridurre il carico urbanistico del lotto: dai 18.500 mq di SUL previsti in PRG si è proposto uno sviluppo pari 12.000 mq di SUL (Piano di Lottizzazione). Il ridisegno urbanistico del comparto ha permesso di fare una scelta ponderata sulle quantità opportune e interessanti da sviluppare, per costruire un comparto armonico con il contesto urbano circostante.

Tabella riassuntiva dei lotti e delle superfici proposte nel Piano di Lottizzazione

Lotti	Destinazione	Tot Area (mq)	Tot SUL P.L. (mq)
Lotto A	Commerciale	3.000	1.900
Lotto B	Commerciale	6.000	2.100
Lotto C	Residenziale Social Housing	4.300	6.800
Lotto D	Parco Pubblico	4.800	
Lotto E	Commerciale	2.000	1.200
Lotto F	Ristorazione		
<b>Totale</b>		<b>18.100</b>	<b>12.000</b>





Vista lato via Benacense II



Vista lato via Abetone

### **Gruppo Heliopolis progetta realizza nuovi modi di vivere: energie rinnovabili, rigenerazione urbana e riqualificazione energetica**

Il Gruppo Heliopolis, per mezzo delle sue società, dà forma ad iniziative ideate nel rispetto dell'ambiente e della comunità, genera valore, creando sviluppi sostenibili, luoghi attrattivi e di aggregazione, generando valore per i cittadini e la propria città.

In particolare, Heliopolis, costituita a Trento nel 2008, è attiva nel settore dell'energia rinnovabile, con l'obiettivo di contenere i consumi, le emissioni inquinanti e il costo dell'energia.

Nel corso degli anni la società si è sviluppata aprendo nuove sedi in Europa e in Africa e a partire dal 2016 acquista diverse aree ed immobili abbandonati nelle città di Rovereto, Riva del Garda, Arco, Pavia, Verona, Modena e Bergamo. Parallelamente la società rafforza la propria struttura organizzativa sia lato Real estate sia per la parte di progettazione ed Engineering (infrastrutture-edilizia- impianti) aprendo anche i propri uffici a Milano.

Nel 2020 viene istituita Eletta, società attiva nel settore della riqualificazione energetica - Energy management and efficiency - e a seguire, nel 2021, nasce Supernova per il settore del Real Estate, specializzata in rigenerazione urbana. Le competenze e professionalità del gruppo di Heliopolis legate all'immobiliare sono così confluite in Supernova che è una development company, ovvero promuove e gestisce lo sviluppo di operazioni immobiliari di rigenerazione urbana.

Il gruppo Heliopolis crede fortemente nelle potenzialità del territorio dove nasce e per questo motivo è stato investito in città quali: Riva del Garda, Toscolano Maderno, Rovereto ed Arco.

### La sostenibilità per il gruppo

Il concetto di sostenibilità del gruppo Heliopolis si declina in tre aspetti fondamentali: economico, sociale ambientale. L'aspetto economico è la ragion d'essere dell'iniziativa privata, ma quando si agisce sul territorio urbano, non si può prescindere dal bisogno di rispondere alle esigenze della community locale e del territorio. Aspetti economici e sociali poggiano a loro volta sul rispetto alla salvaguardia dell'ambiente, senza quest'ottica infatti non sarebbe pensabile affrontare le moderne esigenze delle città contemporanee. Questa visione si declina nella scelta dei materiali, nella definizione della classe energetica degli edifici progettati nell'utilizzo di fonti di energia rinnovabile e nella previsione di di una mobilità sempre più sostenibile.

## 2. La costruzione in legno più alta in Italia

La società Supernova, a seguito dell'acquisto dell'area ex-Marangoni, con il proprio team ha avviato le pratiche afferenti al tema ambientale (bonifiche) e le prime fasi di sviluppo del Masterplan.

Dal punto di vista edilizio costruttivo, il primo approccio progettuale è stato di tipo tradizionale, in cemento armato, ma a seguire, tra maggio e luglio 2018 sono state avviate delle analisi tecnico/economiche per valutare l'opportunità di realizzare gli edifici di Social Housing in legno o in misto legno/acciaio.

Il principale aspetto di analisi è stata la valutazione strutturale e l'analisi in merito ai costi di costruzione: l'edificio più alto (piani T+8) avrebbe rappresentato la più alta struttura in legno costruita in Italia (insieme ad un analogo edificio a Milano destinato anch'esso al social housing), una grande sfida da affrontare!

E' necessario anticipare che, rispetto alle soluzioni costruttive ordinarie, i costi di costruzione in legno sono lievemente maggiori: per questo motivo è stata avviata, parallelamente all'analisi tecnica, un'opportuna valutazione economica e un preliminare confronto con il cliente (Finint SGR - che avrebbe acquistato gli immobili social housing) al fine di valutarne il relativo interesse, e il punto d'incontro tra le parti.

La variante al progetto, prevedendo la **costruzione in legno**, è stata supportata dall'analisi dei benefici ottenibili che sono riassumibili nei seguenti **punti di forza**:

- a. il principale vantaggio: **riduzione dei tempi di costruzione**. Essendo il legno un materiale leggero, ogni elemento è facilmente trasportabile e maneggiabile in cantiere; inoltre, il montaggio, effettuato interamente a secco mediante l'utilizzo di collegamenti meccanici con piastre di acciaio, viti, chiodi e bulloni, è estremamente veloce;
- b. il legno è rinnovabile e riciclabile e come tale offre una **elevata garanzia di sostenibilità ambientale**; inoltre non rilascia emissioni, polveri o fibre nocive e la sua fase di produzione e messa in opera consuma pochissima energia. Infatti, la scelta costruttiva riduce l'impatto ambientale dell'opera del 50-70% rispetto all'edilizia tradizionale. L'utilizzo del legno riduce notevolmente le emissioni di carbonio rispetto alle tecniche costruttive classiche, e permette lo stoccaggio della co2 all'interno delle proprie strutture.
- c. il legno è un **ottimo isolante termico e un buon isolante acustico**, assicurando positivi risultati in termini di risparmio energetico;
- d. le strutture in legno hanno **un'eccellente resistenza** alle azioni sismiche e un comportamento al fuoco prevedibile;
- e. sapendo inoltre scegliere i trattamenti superficiali specifici si ottiene **un'eccellente durabilità nel tempo**.

La scelta di procedere con la costruzione in legno ha determinato un adeguamento del distributivo al piano terra, permettendo di introdurre alcuni spazi ad uso collettivo, come richiesto dal cliente; invece, è rimasto invariato il capitolato in termini impiantistici e di finitura.

Altra **nota di merito dell'iniziativa è aver collaborato fin da principio con i clienti (gestori o end-user degli immobili), con i quali è stata condivisa la scelta migliore per ambo le parti.** Finint SGR credeva nella scelta della costruzione in legno e ha supportato economicamente le ricadute per l'investimento (l'aumento dei costi di realizzazione è stato corrisposto con un aumento dell'importo del contratto preliminare di compravendita).

#### **I numeri della costruzione in legno:**

- 9** piani per 30 mt in altezza
- 560** mq per piano
- 5100** mq totali
- 800** pannelli XLAM
- 60** pannelli parete a piano
- 27** pannelli solaio a piano
- 1500** m<sup>3</sup> di legno lavorato
- 2500** m<sup>3</sup> di tronchi
- 13** settimane di lavoro
- 0** kg di travi/colonne in acciaio, edificio «solo legno»
- 100** mila viti impiegate
- 10.000** kg di piastre
- 4** squadre di lavoro impiegate al montaggio

Dopo l'ottobre 2018, **la scelta si è dimostrata vincente ed è stata rafforzata quando si è abbattuta la tempesta Vaia: da un tragico episodio locale è sorta una nuova opportunità per il territorio**, a dimostrazione che gli aspetti economici e sociali dell'azione imprenditoriale poggiano sul rispetto e la salvaguardia dell'ambiente.

Al fine di individuare la migliore soluzione tecnologica e determinarne i costi di costruzione è stato avviato un metodo olistico di progettazione esecutiva e di cost control: sono state infine coinvolte diverse imprese e ditte specializzate, aggiudicandosi così l'appalto l'impresa Ri-Legno srl di Trento in collaborazione con la società XLAM Dolomiti.



Supernova ha concordato con il committente (Finint sgr) una variante costruttiva per la realizzazione degli edifici in legno massiccio multistrato XLAM. Questa tecnologia prevede la costruzione partendo dal piano terra, con la realizzazione in opera di solai e pareti esterne realizzate con struttura portante in legno di abete certificata CE e PEFC/FSC. Allo stesso modo è stata realizzata in XLAM la struttura di copertura, mentre la realizzazione del piano interrato (box auto, cantine, locali tecnici, ecc.) è stato costruito in cemento armato. Una delle sfide maggiori è stata la progettazione a livello strutturale, superata con successo grazie al lavoro di squadra.

### Le **caratteristiche salienti dell'edificio sono:**

- è stato **realizzato interamente in legno**, senza l'ausilio di alcun elemento metallico dal punto di vista strutturale (a parte le connessioni);
- aver progettato e aver avuto a disposizione **pannelli più grandi rispetto alle dimensioni standard presenti sul mercato, garantendo così tempi di realizzazione brevi** e, di conseguenza, **costi più sostenibili**. L'utilizzo di pannelli in legno di grandi dimensioni – da 3,5 metri di altezza fino a 13,5 metri di lunghezza – ha consentito di **velocizzare il processo di posa**. La struttura a strati incrociati del pannello in XLAM permette la posa di pannelli portanti di grandi dimensioni riducendo il numero delle connessioni, con un risparmio ulteriore in termini di tempi e di costi.
- la **leggerezza del legno**, materiale particolarmente adatto allo sviluppo di strutture in verticale, **garantisce carichi inferiori sulle fondazioni**. Basti pensare che il peso di tutto l'edificio di 9 piani in legno corrisponde al peso del piano interrato che coincide con la sagoma dell'edificio. Di conseguenza, si è registrato un **risparmio sui costi di scavo e di realizzazione delle strutture di fondazione**.
- il solaio è costituito da pannelli strutturali a tre strati per un totale di 120 mm collaboranti con travi in legno lamellare per evitare elementi strutturali metallici. Durante le fasi del cantiere, i solai sono stati protetti con teli traspiranti che hanno permesso una conservazione ottimale delle strutture anche nelle fasi di sospensione forzata a causa della pandemia da Covid19.

### **I Milestone dell'operazione**

*Rinasce Marangoni* si può raccontare attraverso la cronologia dei momenti principali che caratterizzano il suo sviluppo:

- aprile 2017: acquisto della proprietà
- febbraio 2018: deposito della domanda di Piano di Lottizzazione
- settembre 2018: inizio delle demolizioni delle strutture esistenti, concluse a dicembre 2018
- novembre 2018: sottoscrizione della Convenzione Urbanistica e deposito delle domande di Permesso a Costruire
- gennaio 2019: ottenimento Permessi di Costruire
- giugno 2019: avvio dei lavori di costruzione
- settembre 2019: avvio dei lavori di costruzione degli edifici in legno
- dicembre 2019: conclusione della costruzione in legno
- marzo 2020: conclusione dei lavori di costruzione del comparto commerciale
- giugno 2020: conclusione dei lavori di rifinitura completa e avvio procedura per assegnazione degli appartamenti
- marzo 2022: conclusione della costruzione del parco e delle opere di urbanizzazione
- maggio 2022: inaugurazione e consegna delle chiavi delle residenze alla Cooperativa social housing e del Parco all'amministrazione comunale.

## **3. Punti di forza dell'iniziativa**

Il progetto è stato sviluppato con una metodologia collaborativa e vi sono notevoli punti di forza, come:

- **Forte sinergia e collaborazione Pubblico-Privato:** fin da subito la pubblica amministrazione locale e provinciale, oltre che gli altri enti (APPA, ASL, Vigili del Fuoco, etc.) hanno collaborato fattivamente per accelerare e svolgere tutto il possibile in tempi contratti e certi. Solo con questo tipo di approccio pubblico-privato è possibile stabilire un dialogo aperto e concreto di concertazione a beneficio di ambo le parti, e quindi alla buona riuscita del progetto
- **Una disgrazia ambientale crea nuova vita per la città:** la scelta di optare per una costruzione in legno è stata ancor più rafforzata a seguito della tempesta Vaia. Una nuova vita rinasce dopo un episodio drammatico per l'ambiente e il territorio.

- **Parco a copertura degli spazi commerciali:** il parco, con la sua forma ascensionale curva unica e distintiva, rappresenta una soluzione paesaggistica con la quale si riducono le aree non drenanti di copertura e di asfalto e viene favorita la mitigazione ambientale. In più, l'elemento verde dona movimento e pregio paesaggistico. In sommità il parco ospita un'area giochi con tappeti antitrauma e spazi coperti, utili per momenti di socialità, creando nuovi luoghi di connessione e relazioni pubbliche.



Parco a forma di «collina» che termina nell'area giochi e spazio bar, con spazi coperti con tetti fotovoltaici

- **Sport e qualità della vita nel quartiere:** sempre per il benessere dei cittadini e la sostenibilità dell'ambiente, sono stati previsti gli Orti urbani e la «Casa dell'acqua». Benessere e vivibilità si connettono allo sport: nella riqualificazione è stato infatti rimesso a nuovo il campo da calcio del quartiere Lizzanella (omologato Coni).
- **Mobilità sostenibile:** il quartiere è servito da piste ciclabili, nuovi arredi urbani e assetti stradali che aumentano la sicurezza ciclopedonale di pedoni e ciclisti. Sono state installate colonnine per la ricarica elettrica delle autovetture e delle bici per il bike sharing (circuito *E-motion* Trentino).
- **Viabilità:** sono state realizzate le opere di urbanizzazione per la riqualificazione del tratto stradale di via Abetone, via del Garda e via Benacense II con l'introduzione di nuovi marciapiedi, attraversamenti pedonali protetti, nuovi stalli per parcheggi e aiuole verdi alberate, illuminazione a led, videosorveglianza.
- **Volano positivo economico:** è stato calcolato che il ritorno economico per la città, a fronte di un investimento complessivo di 20 milioni euro, ovvero il valore che i cittadini di Rovereto possono godere in beni durevoli e servizi, ammonta a circa 2 Mln di euro.

#### 4. Le complessità riscontrate durante lo sviluppo dell'operazione

Vi sono state alcune complessità che potevano trasformarsi in criticità, ma Supernova ha prontamente avviato delle strategie di compensazione per trovare soluzioni percorribili che hanno dato risultati positivi.

- **Criticità amministrative:** gli Enti chiesero che fossero predisposte le singole domande di permesso di costruire, autonomamente per ogni lotto. L'approvazione prevedeva che la documentazione tecnica fosse vagliata dalla commissione edilizia, urbanistica e circoscrizionale per garantire la visione completa dell'intervento e la verifica dell'integrazione delle opere con le urbanizzazioni previste.
- **Criticità ambientali:** durante gli scavi del sottosuolo sono state trovate diverse cisterne interrato che sono state rimosse e regolarmente smaltite e contestualmente si è riscontrata la presenza di residui di amianto occultati nel sottosuolo. Per svolgere la bonifica si è proceduto con ulteriori scavi a maggior profondità rispetto a quanto previsto, aumentando i costi previsti di bonifica.

- **Criticità pandemica:** a marzo 2020 è arrivata per tutti la crisi legata alla Pandemia Covid che ha per certi versi rallentato per qualche mese l'operatività di cantiere. La criticità è stata compensata dalla positiva contrazione dei tempi per via della costruzione in legno e per il fatto che la produzione degli elementi era off-site, pertanto in cantiere avveniva un lavoro puntuale e concentrato.

## 5. Premi e certificazioni



L'iniziativa ex-Marangoni è stata pluripremiata come miglior progetto ad UrbanPromo Istituto di Urbanistica.

Confermato come miglior progetto nelle due edizioni: 2019 e 2020, nella sezione Nuove modalità dell'Abitare e del produrre.

[Urbanpromo](#)



Nel 2021 il progetto è stato certificato da ARCA (Architettura Comfort Ambiente la certificazione di qualità delle costruzioni in legno) che è il primo sistema di certificazione dedicato alle costruzioni in legno.

Arca nasce per promuovere l'edilizia in legno di qualità e per garantire le prestazioni degli edifici, a tutela delle persone che vi abitano e vi lavorano. Il suo protocollo garantisce la durabilità, la sicurezza contro il sisma e il fuoco, il risparmio energetico, la sostenibilità, i materiali, la salubrità della tua casa in legno.

### Tempesta Vaia

A fine ottobre 2018 la tempesta Vaia colpì l'area alpina del Nord Est d'Italia, distruggendo 42.500 ettari di foreste e abbattendo oltre nove milioni di metri cubi di legname, sono stati abbattuti circa 14 milioni di alberi (dato mai registrato in epoca recente in Italia).

Nel 2020 quasi la metà di quel legname è stato esboscato e circa il 60% è stato venduto, mentre con il restante sono stati avviati degli interventi, con progetti virtuosi di strat-up, che puntano a sostenere le zone colpite e a recuperare il legname a terra. La stima definitiva dei danni è stata in:

- Friuli-Venezia Giulia, secondo la protezione civile regionale, ammonta a 615 milioni di euro
- Veneto (la Regione più colpita) i danni sono stati valutati in 1 miliardo e 769 milioni di euro
- Trentino circa 250-300 milioni di euro di danni
- 85,4 milioni in Alto Adige e 40 milioni in Lombardia.

# **Value engineering, modello digitale DfMA: come rendere il legno la migliore soluzione**

Franco Piva  
Ergodorus Timber Engineering  
Pergine Valsugana (TN)  
Italia

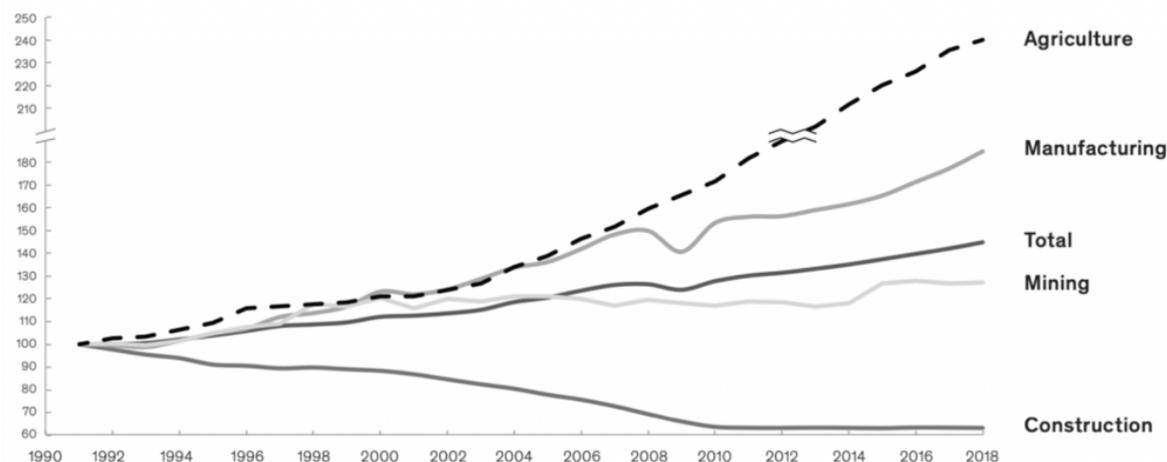




# Value engineering, modello digitale

## DfMA: come rendere il legno la migliore soluzione

DfMA è un acronimo inglese che sta per «Design for Manufacturing and Assembly», ovvero «Progettare per la produzione e l'assemblaggio». Queste 4 lettere riassumono molto bene un concetto noto da molto tempo in molti ambiti produttivi/industriali ma purtroppo relativamente nuovo nel mondo delle costruzioni che è notoriamente molto restio nell'accogliere le novità.



Source: World Bank, IHS, International Labour Organization

Figure 1: produttività nel settore delle costruzioni negli ultimi anni.

### 1.1. Digitalizzare: la parola d'ordine

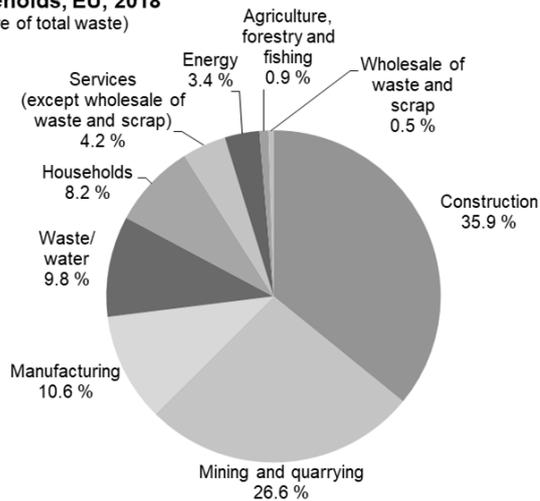
Ebbene, la «novità» è l'adozione di veri strumenti digitali che siano in grado di migliorare il lavoro dei vari soggetti coinvolti e soprattutto creare delle economie in grado di ridurre i costi, i tempi morti in cantiere e, cosa più importante, i rischi dell'investimento. La sostenibilità è indubbiamente un fattore molto importante nel nostro settore e costruire edifici «carbon neutral» deve essere sempre più prioritario per combattere i cambiamenti climatici. Nel settore delle piccole costruzioni (edifici fino a 4-5 unità abitative) la scelta del materiale costruttivo è spesso determinata dalle preferenze del cliente, guidata dall'emozione e dalla passione per un prodotto piuttosto che per un altro. Questa fascia di mercato ha potenzialmente una incidenza sulle emissioni piuttosto contenuta in quanto si tratta di piccoli interventi sparsi.

La situazione cambia radicalmente quando si passa a grandi interventi edilizi che vedono il coinvolgimento di grossi capitali e di investitori che puntano naturalmente a massimizzare i ricavi e minimizzare i rischi. Una singola di queste operazioni ha un impatto ben superiore rispetto agli edifici menzionati in precedenza: si parla infatti di decine di migliaia di metri quadrati distribuiti su più piani. La scelta del materiale e della tipologia costruttiva a questo punto non è più di tipo emotivo, ma è solo ed esclusivamente di tipo economico; verrà pertanto sempre privilegiata la soluzione più economica, che espone a rischi minori e che può essere costruita nel minor tempo. Il fattore «sostenibilità» al momento non ha una grande importanza, ma la situazione sta lentamente (troppo) cambiando in generale nel mondo.

L'industria delle costruzioni incide per oltre il 30% sulle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera e sulla produzione di rifiuti.

### Waste generation by economic activities and households, EU, 2018

(% share of total waste)



Source: Eurostat (online data code: env\_wasgen)

eurostat

Figure 2: impatto del settore delle costruzioni sulla produzione mondiale di rifiuti.

Quindi la domanda è «Perché un developer dovrebbe scegliere il legno rispetto al cemento/acciaio?». Come possiamo noi progettisti ridurre l'impatto economico del legno sulla struttura portante e ridurre i rischi degli investitori? Va premesso che il calcolo del costo totale è una equazione molto complessa composta da decine di variabili/incognite, e che prevede l'intervento «manuale» per tenere in considerazione alcuni fattori di imprevedibilità definiti appunto «fattori di rischio». Qual è il rischio correlato all'uso del legno rispetto all'uso di altri materiali? Il mondo assicurativo ci insegna che al momento i fattori legati al legno sono poco conosciuti poiché manca uno storico delle costruzioni in legno di grandi dimensioni (fuoco, durabilità, deterioramento, problemi durante il cantiere, valore di mercato nel tempo, etc...).

## 1.2. Il modello digitale

Noi progettisti abbiamo però un'arma a disposizione che può aiutarci e che spesso ignoriamo di avere: il modello digitale. Ovvero un modello 3d che va ben oltre il semplice «disegno 3d», accoglie ed espande tutti i concetti del BIM per arrivare al livello più alto di definizione del dettaglio ovvero il disegno costruttivo. Questo modello digitale è una copia esatta di quello che arriverà in cantiere secondo il concetto «WYDIWYG» ovvero «What You Draw Is What You Get», «quello che disegni è quello che avrai in cantiere». Se fatto bene, e lo deve essere per non inceppare il meccanismo, il modello digitale ci permette di prevedere tutti i possibili problemi del cantiere, ridurre i tempi morti, pianificare l'arrivo dei materiali in cantiere, programmare con precisione tutte le varie fasi e soprattutto fare decine di simulazioni per confrontare diverse soluzioni tra di loro. Il confronto può essere fatto considerando molte variabili allo stesso momento, perché si rimane sempre in un ambito digitale fatto da una infinita sequenza di 0101010101.

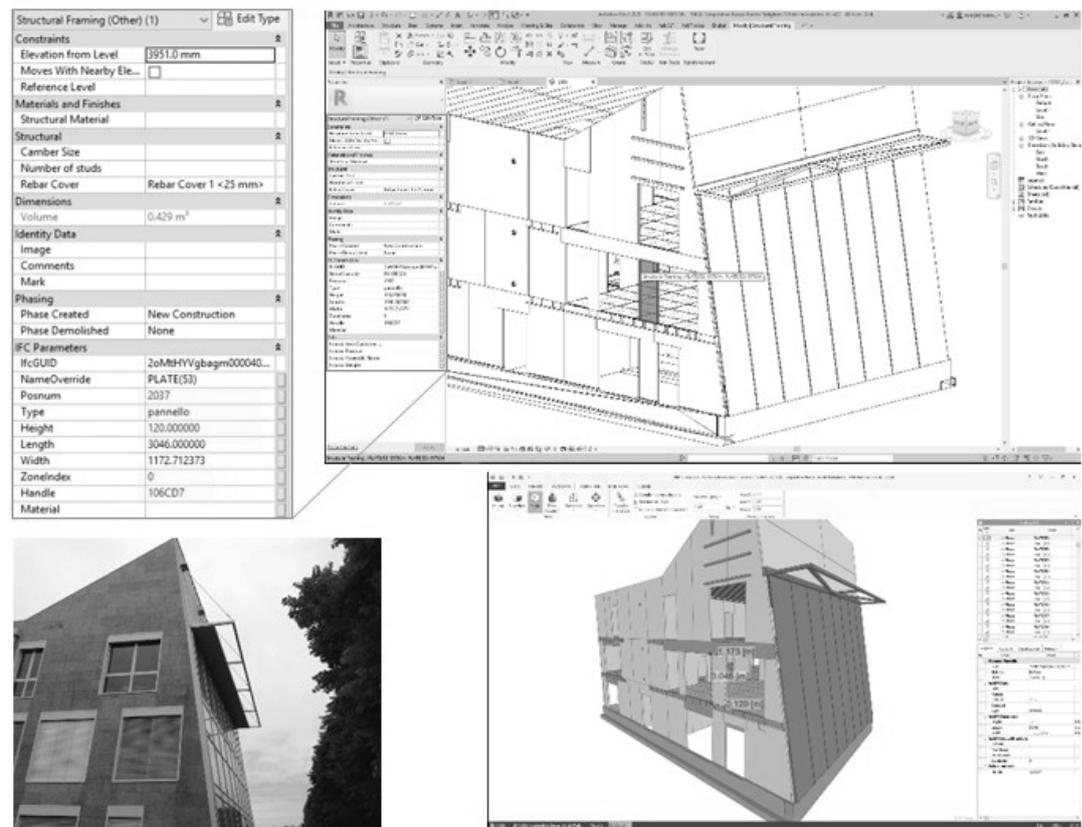
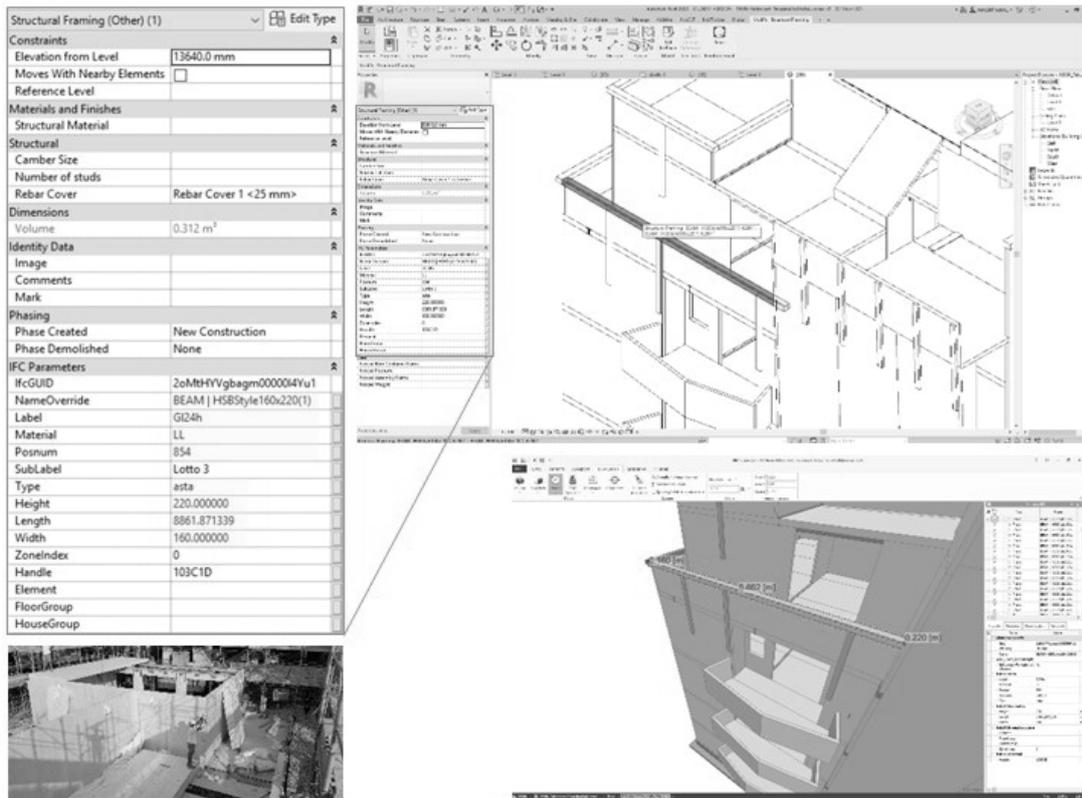


Figure 3: analisi di un file .ifc. modello digitale, di una struttura in legno: tutti gli elementi sono facilmente identificabili con le loro caratteristiche (lamellare, massiccio, Xlam, etc...)

Il modello digitale permette di definire con precisione tutti i dettagli, con la certezza della corretta realizzazione in cantiere in maniera quasi indipendente dalla loro complessità. Il LOD (Level Of Development) è definito dalla ISO e, nel caso del legno, può essere sintetizzato nell'immagine seguente:

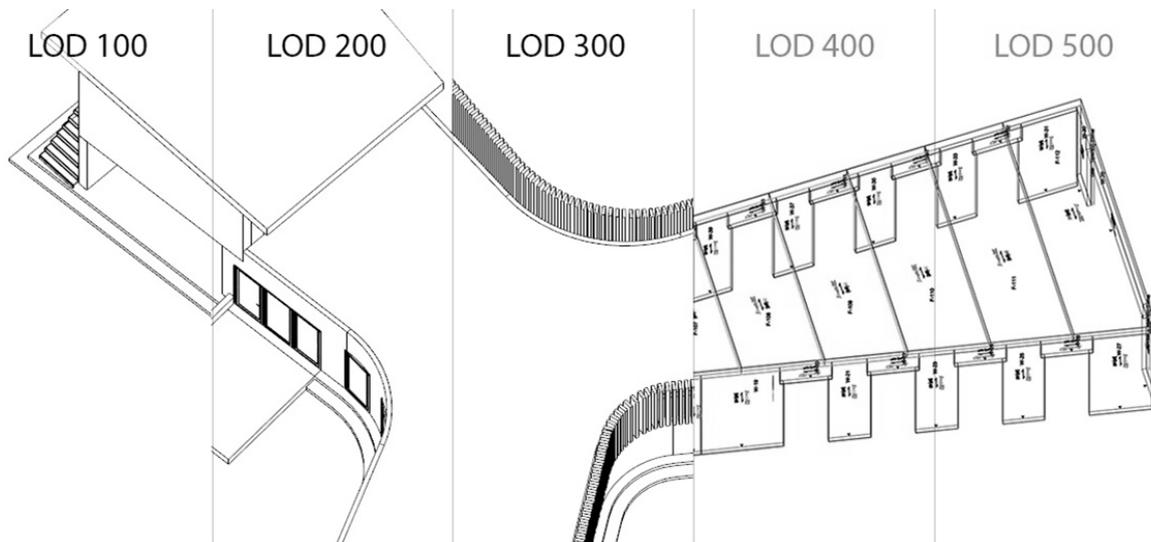


Figure 4: LOD, livello di dettaglio su di una costruzione in legno.

### 1.3. La valutazione dei costi

Il «value engineering» si inserisce perfettamente nel modello digitale e può essere visto come una sorta di operazione multi-disciplinare per ridurre i costi valutando i vari parametri e dando loro un peso diverso in base alle esigenze del mercato e del cliente. Sempre restando nell'ambito del legno, le possibili soluzioni sono decine e tirano in ballo anche altri materiali come acciaio e cemento per ottenere soluzioni ibride che ampliano a dismisura le possibilità. Per fare una vera operazione di «value engineering» è quindi indispensabile conoscere perfettamente tutti i materiali sul mercato e, cosa ancora più importante, conoscere la loro «storia» dalla produzione, alla lavorazione con macchine CNC, al trasporto ed infine al montaggio (MA: Manufacturing and Assembly). Le macchine CNC sono in grado di fare grandi cose, ma hanno diverse limitazioni che è bene conoscere per evitare problemi in fase di taglio: piccoli accorgimenti possono portare grandi guadagni.

Ha senso fare un confronto sui costi basato solo sulla struttura?

Sarebbe quasi come confrontare  $1\text{m}^3$  di cemento con  $1\text{m}^3$  di legno: chi costa di più? Il confronto va fatto includendo molti fattori collegati tra di loro. Tra questi si possono citare a titolo di esempio:

- Tempi di realizzazione
- Quantità di CO2 immagazzinata rispetto a CO2 emessa
- Impatto dei trasporti sulla viabilità
- Pacchetti costruttivi con pari prestazioni acustiche e termiche (estive ed invernali)
- Minor peso per le fondazioni (il legno permette un risparmio di circa il 30% sui carichi permanenti)
- Rumorosità del cantiere e minore richiesta energetica per l'allacciamento provvisorio
- Necessità di equipaggiamenti più leggeri in cantiere (gru, camion, etc...)

La valutazione dei costi è uno dei problemi principali che ostacolano la scelta del legno rispetto ai materiali tradizionali.

## 1.4. Conclusioni

Ecco che la somma di tutti questi fattori avvalora sempre di più il concetto espresso dal diagramma di MacLeamy molto ben conosciuto in ambito industriale: l'investimento di tempo va spostato il più possibile nella fase progettuale iniziale.

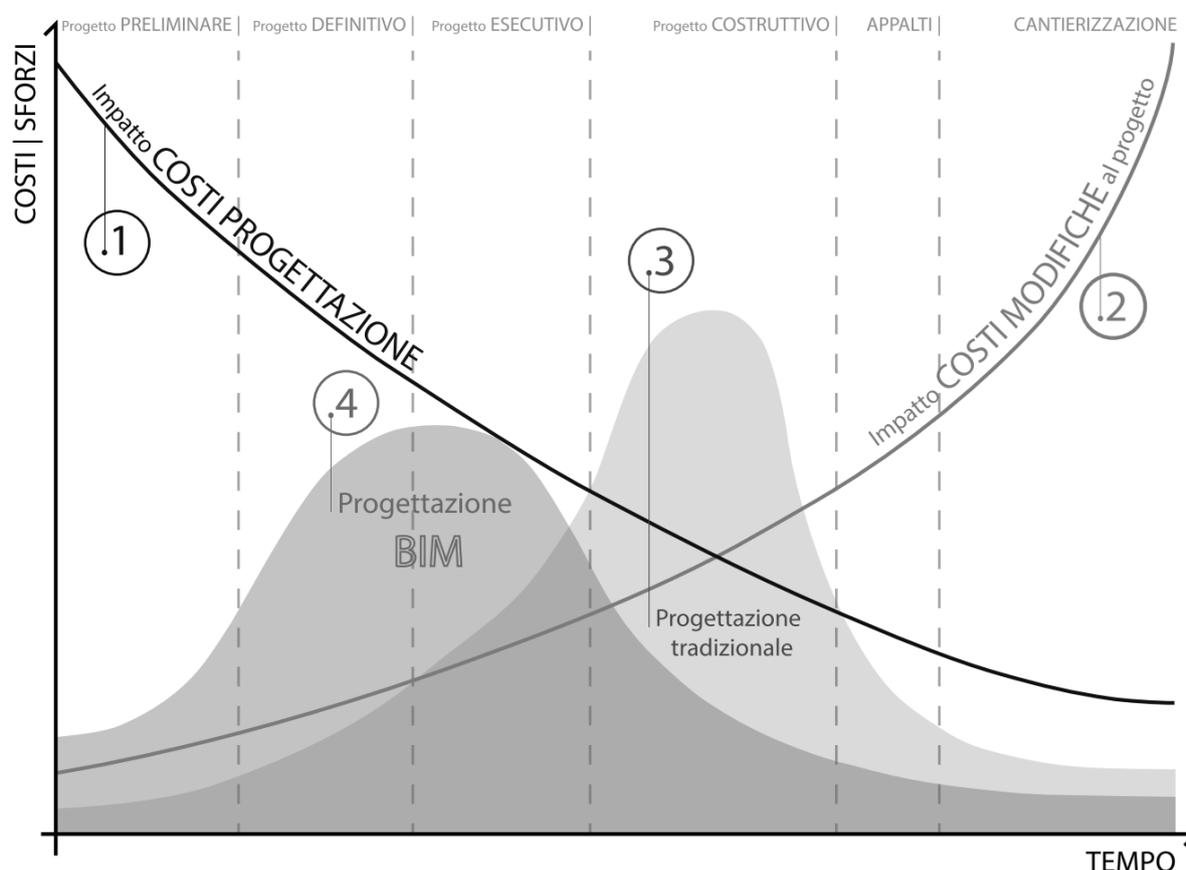


Figure 5: diagramma di MacLeamy. Con il passare del tempo (spostandosi verso destra nel diagramma) la possibilità di apportare modifiche decresce ed il costo aumenta.

Lasciare le variabili al «vedremo poi in cantiere» oppure ancora «qualcun altro risolverà il problema in cantiere» è un atteggiamento sbagliato in generale, ma particolarmente grave per le costruzioni in legno. La mancata conoscenza di questi fattori tra i computisti (o «Quantity Surveyors» o «Cost Estimators» nel mondo anglosassone) ha come effetto altamente negativo la sovrastima dei fattori di rischio con un conseguente aumento della percentuale di incertezza che genera a sua volta un aumento dei costi. Il concetto è molto semplice «Non conosco il materiale che mi chiedono di analizzare, nel dubbio sovrastimo ed aggiungo un xx% di incertezza». Un atteggiamento simile si vede purtroppo talvolta anche tra gli ingegneri strutturisti.



**Influenze esterne:  
Punti delicati nella pianificazione**



# Pregiudizi e fatti sulle prestazioni estive delle costruzioni in legno

Alessandro Prada  
Università di Trento, DICAM  
Trento, Italia





# Pregiudizi e fatti sulle prestazioni estive delle costruzioni in legno

## 1. Introduzione

Negli ultimi anni il settore del legno è in continua crescita. Secondo i dati del 6° Report Edilizia in legno 2021 di FederLegno Arredo [1] il settore è cresciuto del 10% rispetto al 2019 e ora, circa il 7% delle nuove abitazioni costruite sono in legno. Questa tendenza è legata ai vantaggi riconosciuti dell'edilizia in legno, quali ad esempio una maggior velocità di realizzazione anche grazie ad un maggior livello di prefabbricazione. A questo si aggiunge un buon comportamento statico, grazie al miglior rapporto resistenza-peso, e un assodato livello di efficienza energetica nel periodo invernale grazie ai bassi valori di trasmittanza termica che possono essere facilmente raggiunti con l'aggiunta di materiali isolanti.

Tuttavia, se si analizzano i dati di FederLegno Arredo sulla distribuzione territoriale, si nota come circa il 75% degli edifici costruiti sia localizzato nel nord Italia. Questo è in parte legato alla maggior diffusione delle imprese del settore ma anche ad un pregiudizio sul comportamento estivo degli edifici in legno. Infatti, è molto comune il pensiero secondo cui gli edifici in legno offrono delle ridotte prestazioni estive e, per questo, sono poco adatti ai climi più caldi data la tendenza a surriscaldarsi.

Questa tesi è fondata sul principio per cui bisogna avere un edificio massivo, come nell'edilizia tradizionale, per avere un buon comportamento estivo, in modo da sfasare e attenuare le oscillazioni della temperatura esterna per mezzo della capacità termica dei materiali. Questo concetto, per esempio, fu presente anche nella legislazione nazionale ed in particolare nella versione 2009 delle «Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici» [2]. Infatti, il decreto proponeva una classificazione delle prestazioni estive basata sui parametri dell'involucro valutati secondo la norma tecnica UNI EN ISO 13786 [3]. Nelle linee guida, la qualità estiva dell'involucro veniva valutata attraverso lo sfasamento (parametro principale) e il fattore di attenuazione.

Lo sfasamento è definito come il ritardo temporale fra il picco della temperatura sul lato esterno della parete e il picco del flusso trasmesso sul lato interno della parete, mentre il fattore di attenuazione è definito come il modulo della trasmittanza termica periodica diviso la trasmittanza stazionaria.

Tabella 1: Classificazione della qualità estiva dell'involucro secondo DM 26/6/2009 [2]

Sfasamento [h]	Fattore Attenuazione [-]	Prestazioni	Qualità
$S > 12$	$F_a < 0.15$	Ottime	I
$12 \geq S > 10$	$0.15 \leq F_a < 0.30$	Buone	II
$10 \geq S > 8$	$0.30 \leq F_a < 0.40$	Medie	III
$8 \geq S > 6$	$0.40 \leq F_a < 0.60$	Sufficienti	IV
$6 \geq S$	$0.60 \leq F_a$	Mediocri	V

La classificazione proposta in Tabella 1 ha due aspetti critici:

- Lo sfasamento  $S$  perde di importanza se la trasmittanza periodica tende a 0. Infatti, se il flusso trasmesso verso l'interno è molto basso, non è indispensabile che sia ritardato nel tempo.
- Strutture leggere con trasmittanza termica stazionaria molto bassa sono penalizzate perché potrebbero avere fattori di attenuazione relativamente alti. Tuttavia, esiste un vincolo teorico per cui la trasmittanza termica periodica ( $Y_{IE}$ ) è sicuramente inferiore alla trasmittanza termica stazionaria ( $U$ ).

I limiti di questo approccio possono essere facilmente compresi analizzando i dati riportati in Tabella 2. Qui vengono riportati gli spessori e i parametri prestazionali calcolati secondo la UNI EN ISO 13786 [3] per due pareti monostrato, in EPS e cemento armato, per le quali viene raggiunto lo sfasamento limite per l'attribuzione delle classi proposte in [2]. Il primo risultato importante che emerge riguarda la trasmittanza periodica. Pur avendo gli stessi sfasamenti e fattori di attenuazione, i due materiali offrono delle trasmittanze termiche periodiche molto diverse fra loro, con valori decisamente minori nella parete leggera. Altro risultato importante è che, per raggiungere lo stesso sfasamento limite, occorre inaspettatamente uno spessore minore nel materiale leggero rispetto a quello massivo.

Tabella 2: Caratteristiche delle pareti monostrato in EPS e cemento armato

Qualità	S [h]	EPS			CA		
		X [cm]	$Y_{IE}$ [W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]	Fa [-]	X [cm]	$Y_{IE}$ [W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]	Fa [-]
<b>I</b>	12	52	0.015	0.22	62	0.68	0.22
<b>II</b>	10	45	0.026	0.32	54	1.14	0.32
<b>III</b>	8	38	0.043	0.46	45	1.93	0.46
<b>IV</b>	6	31	0.072	0.63	37	3.22	0.63

Questi risultati suggeriscono quindi che, pur essendo classificate allo stesso modo, le due tipologie di pareti offriranno delle prestazioni sulla trasmissione del calore in regime estivo molto diverse fra loro.

Questa considerazione è facilmente comprensibile analizzando i profili di temperatura superficiale interna e di flusso di calore trasmesso nelle due pareti a seguito di un profilo armonico di temperatura sul lato esterno. In figura 1 e 2 sono riportati gli andamenti nel caso di pareti monostrato ricadenti nel limite inferiore della classe I (Tabella 2). Come si nota dai grafici l'andamento delle temperature superficiali interne è praticamente analogo con temperature superficiali che raggiungono al massimo 24.2 °C a seguito di una temperatura esterna di 34°C.

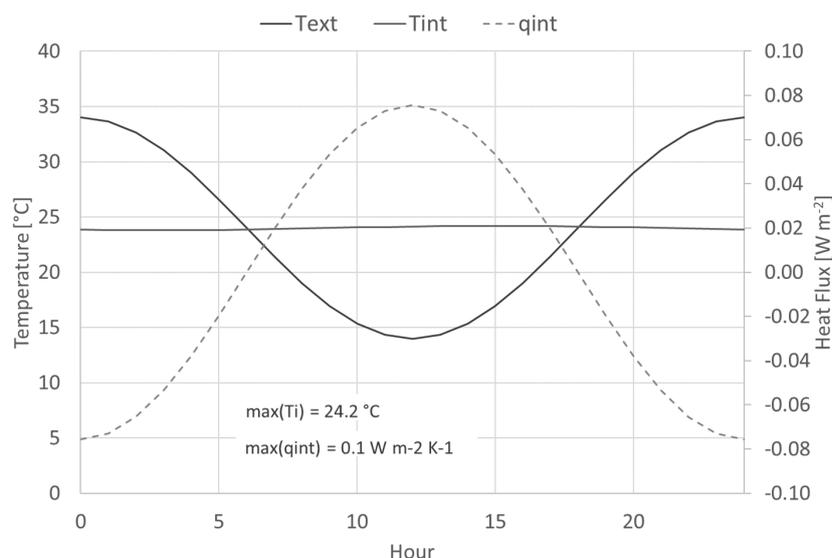


Figura 1: Profili di temperatura e flusso nel caso di parete monostrato in EPS da 52 cm.

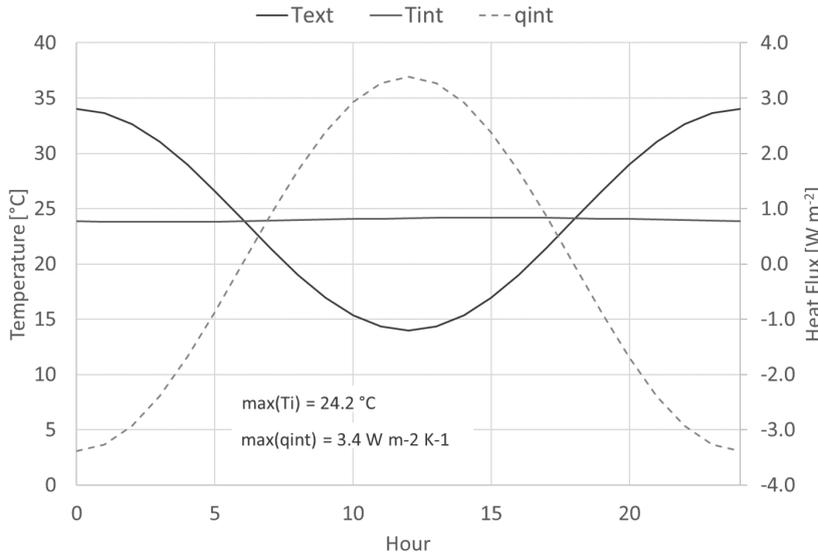


Figura 2: Profili di temperatura e flusso nel caso di parete monostrato in CA da 62 cm.

Anche il profilo del flusso trasmesso ha la stessa forma, quello che però cambia è il valore del flusso trasmesso, che nella parete in EPS è nettamente inferiore. Questo testimonia quindi come anche una parete leggera possa avere delle ottime prestazioni in regime estivo, le quali sono facilmente quantificabili attraverso la coppia di valori di sfasamento e trasmittanza periodica. Questo è un risultato importante che sfata il mito dell'indispensabilità della massa, e che può essere dimostrato sia per via analitica sia sperimentalmente.

## 2. Analisi analitica

La trasmittanza termica periodica ( $Y_{TE}$ ) è il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare e attenuare la componente periodica del flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore. Questo parametro deriva dalla rielaborazione della soluzione analitica della trasmissione del calore in un solido semi-infinito sottoposto ad una variazione armonica della temperatura.

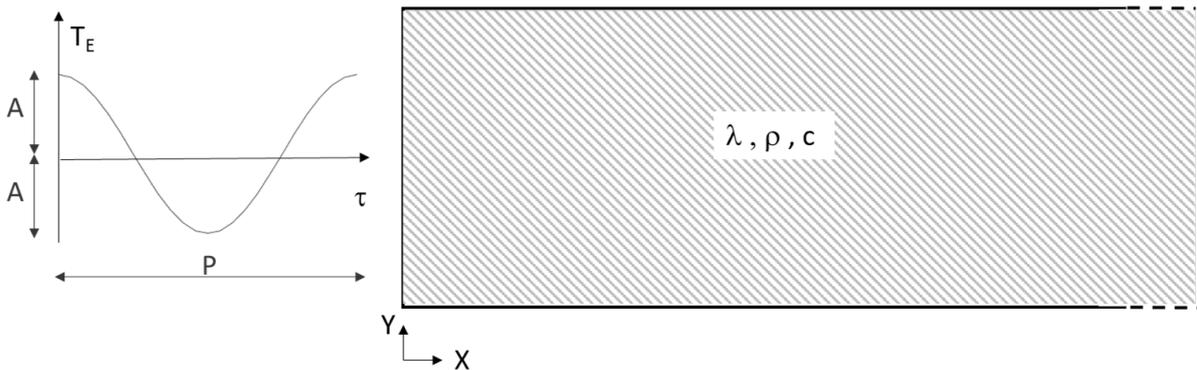


Figura 3: Configurazione del problema del solido semi-infinito sottoposto a condizione al contorno armonica

La temperatura sul lato esterno della parete può essere espressa in funzione del periodo ( $P$ ) e della semi-ampiezza dell'oscillazione ( $A$ ) nella forma complessa:

$$T_E(0, \tau) = T_0 + A \cdot \exp \left\{ i \cdot \frac{2\pi}{P} \cdot \tau \right\} \tag{1}$$

dove  $i$  è appunto l'unità immaginaria. La soluzione analitica dell'equazione del calore può essere ricavata col metodo della separazione delle variabili [4,5] e diventa:

$$T(x, \tau) = T_0 + A \cdot \exp\{-\gamma \cdot x\} \cdot \exp \left\{ i \cdot \left( \frac{2\pi}{P} \cdot \tau - \gamma \cdot x \right) \right\} \tag{2}$$

dove:

$$\gamma = \sqrt{\frac{\pi \cdot \rho \cdot c}{\lambda \cdot P}} = \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot P}} \quad (3)$$

Nell'equazione (2) si nota quindi come l'oscillazione della temperatura ad una generica distanza  $x$  dalla superficie esterna venga attenuata attraverso  $\exp\{-\gamma \cdot x\}$  e venga sfasata nel tempo di  $-\gamma \cdot x$ . Per aumentare questi due effetti si può quindi agire incrementando  $x$ , come avviene tipicamente nelle cantine degli edifici storici dove gli spessori delle murature sono considerevoli, oppure incrementando  $\gamma$  attraverso la riduzione della diffusività termica ( $a$ ). Quest'ultima strategia può essere perseguita sia aumentando la massa ( $\rho$ ) e il calore specifico ( $c$ ) del materiale sia riducendo la conducibilità termica ( $\lambda$ ).

Utilizzando il postulato di Fourier e la soluzione analitica (2) si può valutare la densità di flusso di calore trasmesso alla generica distanza  $x$  dalla superficie esterna, che sarà:

$$\dot{q}(x, \tau) = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda \cdot A \cdot \exp\{-\gamma \cdot x\} \cdot \exp\left\{i \cdot \left(\frac{2\pi}{P} \cdot \tau - \gamma \cdot x\right)\right\} \cdot [\gamma + i \cdot \gamma] \quad (4)$$

Si può infine valutare la trasmittanza termica periodica partendo dalla sua definizione:

$$Y = \frac{\dot{q}(x, \tau)}{T_E(0, \tau)} = \lambda \cdot \exp\{-\gamma \cdot x\} \cdot \exp\{-i \cdot \gamma \cdot x\} \cdot [\gamma + i \cdot \gamma] \quad (5)$$

che riscritto impiegando la formula di Eulero e ricordando l'equazione (3) diventa:

$$Y = \sqrt{\frac{\pi \lambda \rho c}{P}} \cdot \exp\{-\gamma \cdot x\} \cdot [(\cos(\gamma x) + \sin(\gamma x)) + i \cdot (\cos(\gamma x) - \sin(\gamma x))] \quad (6)$$

La trasmittanza termica periodica, essendo un numero complesso, potrà essere rappresentata attraverso il modulo e la fase (o sfasamento temporale), seguendo l'approccio della UNI EN ISO 13786 [3]:

$$Y_{IE} = |Y| = \sqrt{\frac{2\pi \lambda \rho c}{P}} \cdot \exp\left\{-\sqrt{\frac{P}{a \cdot \pi}} \cdot x\right\} \quad (7)$$

$$S = \arg(Y) = \frac{P}{8} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{P}{a \cdot \pi}} \cdot x \quad (8)$$

dove l'equazione (7) riporta la trasmittanza termica periodica mentre l'equazione (8) definisce lo sfasamento temporale. Come si può facilmente comprendere, il valore della trasmittanza periodica è governato dall'esponente negativa dell'equazione (7). Per questo motivo può essere portata idealmente a zero facendo tendere a zero la diffusività e quindi nuovamente aumentando la capacità termica del materiale oppure riducendo la conducibilità termica. La stessa strategia può essere adottata anche per lo sfasamento anche se, a causa della radice quadra, la velocità di variazione sarà più lenta.

Il metodo della UNI EN ISO 13786 [3] non è nient'altro che l'estensione al caso di pareti multistrato di spessore finito della soluzione riportata in questa sezione. Le considerazioni fatte però rimangono valide. Questo dimostra quindi come esistano due diverse strategie percorribili per il raggiungimento dello stesso obiettivo, vale a dire l'ottimizzazione del comportamento estivo del componente edilizio. Mentre tradizionalmente le prestazioni estive venivano perseguite con l'aumento della massa, nelle costruzioni attuali i vincoli imposti sulle trasmittanze stazionarie premiano la strategia della riduzione della conducibilità.

Questo aspetto non implica però che la capacità termica del componente edilizio sia del tutto trascurabile. Infatti, la norma definisce anche l'ammittenza termica come il parametro dinamico che valuta la variazione del flusso termico scambiato per unità di superficie di un elemento edilizio, a seguito di una variazione della temperatura che si verifica sullo stesso lato dell'elemento. Partendo dalle soluzioni (2) e (4) si ottiene quindi:

$$a = \frac{\dot{q}(x, \tau)}{T_E(x, \tau)} = \lambda \cdot [\gamma + i \cdot \gamma] \quad (9)$$

Anch'esso è un parametro complesso che potrà quindi essere espresso attraverso il modulo e la fase:

$$Y_{II} = |a| = \sqrt{\frac{2\pi \cdot \lambda \cdot \rho \cdot c}{P}} \quad (10)$$

$$\Delta T_a = \arg(a) = \frac{P}{8} \quad (11)$$

Nell'equazione (10) si nota lo stesso ruolo assunto dalla massa superficiale, dal calore specifico e dalla conducibilità termica, ovviamente degli strati adiacenti alla superficie interna. Per avere quindi una buona ammettenza servono strati di finitura interna poco isolanti e molto massivi. Un comportamento del tutto analogo lo si ha nella valutazione della capacità termica areica periodica valutata sul lato interno della parete. Questa grandezza è definita dalla norma UNI EN ISO 13786 e il decreto sui criteri ambientali minimi [6] ne fissa un valore minimo pari a  $40 \text{ kJ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ . Il suo valore può essere determinato come:

$$k_I = \frac{P}{2\pi} \cdot |Y_{II} - Y| = \frac{P}{2\pi} \cdot |\lambda \cdot [\gamma + i \cdot \gamma] (1 - \exp\{-\gamma \cdot x\} \cdot \exp\{-i \cdot \gamma \cdot x\})| \quad (12)$$

che, dopo alcuni passaggi può essere ricondotta alla forma:

$$k_I = \sqrt{\frac{P \cdot \lambda \cdot \rho \cdot c}{2\pi}} \cdot [e^{-\gamma \cdot x} (e^{-\gamma \cdot x} \cdot \cos(\gamma \cdot x) + 1)] \quad (13)$$

La capacità termica areica viene massimizzata quando la diffusività termica e quindi  $\gamma$  tendono a zero. In questo caso però a causa del primo fattore sotto radice la diffusività termica deve essere portata a zero attraverso l'aumento di  $\rho$  o  $c$  ma non con la diminuzione di  $\lambda$ . Per avere quindi una buona capacità della parete di accumulare l'energia legata alle oscillazioni della temperatura interna dell'edificio servono strati di finitura interna poco isolanti e molto massivi. Se ciò non è possibile è molto importante controllare attentamente gli apporti interni e gli apporti solari che entrano nell'edificio.

### 3. Analisi sperimentale

Quanto ricavato analiticamente è stato verificato anche dal punto di vista sperimentale con due campagne di misura. La prima, svolta nell'ambito del progetto TimBeest, riguarda la misura dei flussi trasmessi attraverso le pareti di due *test cells* sperimentali con pianta quadrata di 2.5 m e con un'altezza interna netta di 2.2 m. Le pareti delle *test cells* hanno trasmittanza stazionaria molto simile fra loro ( $0.52 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  e  $0.55 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ) ma capacità termica differente. La prima cella è realizzata con struttura portante in Xlam e un sottile strato di materiale isolante in lana di legno, mentre la seconda è una struttura leggera a telaio in legno. Le due *test cells* sono dotati di una finestra rivolta a sud e sono prive di impianto di climatizzazione e di carichi interni.

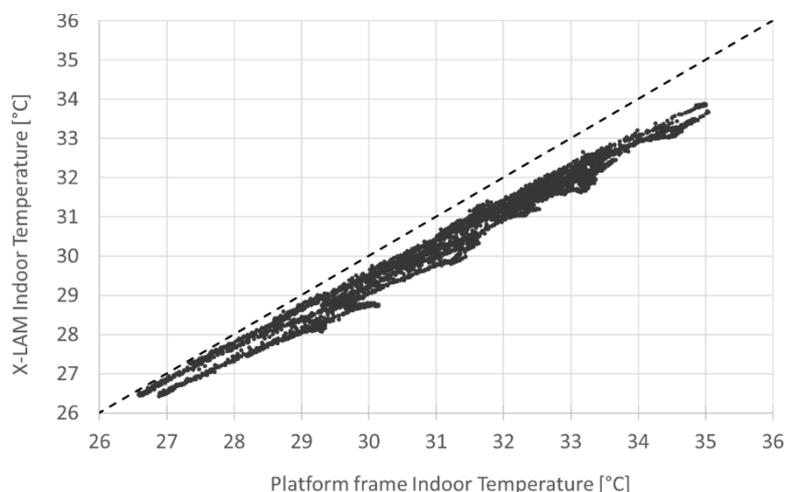


Figura 4: Confronto fra gli andamenti delle temperature nelle due test cells.

In figure 4 viene riportato il confronto fra le temperature interne raggiunte nelle due test cells durante il periodo estivo. Come si nota tutte le misure si trovano al di sotto della bisettrice. La struttura in Xlam, avendo una maggior capacità termica, raggiunge negli stessi istanti delle temperature inferiori rispetto alla struttura intelaiata. Questo risultato è confermato anche dall'analisi sui flussi di calore (Figura 5) dove i flussi negativi indicano un flusso trasmesso dall'esterno verso l'interno. Il grafico mostra chiaramente un tratto superiore alla bisettrice, dove i flussi di calore nella parete in Xlam sono maggiori di quella a telaio e un ramo inferiore in cui succede l'opposto. Questo aspetto evidenzia quindi un ritardo nel flusso trasmesso dalla parete in Xlam rispetto a quella a telaio; infatti, tutti i punti che stanno sopra la bisettrice si riferiscono a misure raccolte fra 1 AM e le 12 PM, quindi durante le ore notturne e nelle prime ore del mattino. La parete in Xlam quindi, grazie alla maggior capacità termica, accumula il calore che ha il suo picco nel primo pomeriggio e lo rilascia ritardato nel tempo, comportamento invece meno evidente nella parete a telaio che tende a trasmettere dopo poche ore il flusso verso l'interno. In questo caso, dato il limitato livello di isolamento delle pareti, prevale il comportamento massivo sulla trasmissione del calore in regime variabile.

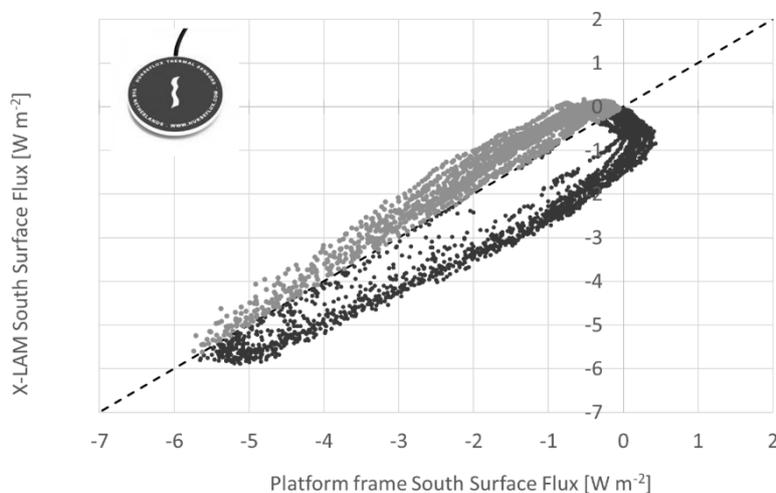


Figura 5: Confronto fra gli andamenti dei flussi nelle test cells: in blu i punti nella fascia oraria 01 AM-12 PM in rosso i punti del periodo rimanente.

Nella seconda attività sperimentale, sono stati monitorati i flussi di calore trasmessi in due appartamenti di due edifici multipiano in legno di ITEA (Istituto Trentino Edilizia Abitativa). Entrambi gli appartamenti sono occupati e privi di impianto di raffrescamento. Le strutture dei due edifici multipiano sono molto simili fra loro in termini di trasmittanza termica ( $0.13 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  e  $0.15 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ) ma offrono capacità termica differente.

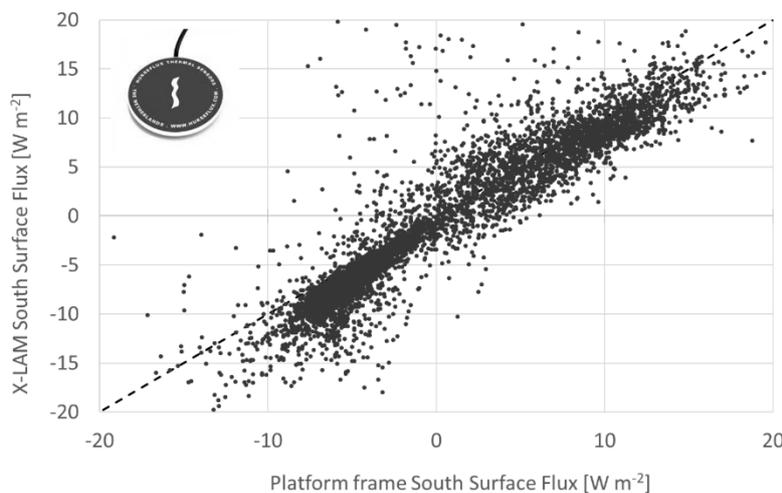


Figura 6: Confronto fra gli andamenti dei flussi negli edifici reali.

Come nel caso delle *test cells*, uno degli edifici presenta una struttura portate a telaio in legno mentre l'altra ha pareti portanti in Xlam. Entrambi presentano però un isolamento a cappotto esterno da 16 cm, esterno quindi allo strato strutturale.

La campagna sperimentale è stata condotta con la stessa tipologia di sensori e il confronto fra i flussi è riportato in figura 6. In questo grafico si nota innanzitutto una maggior dispersione dei dati anche a causa della presenza delle persone le quali, con i loro comportamenti e attività, possono alterare i flussi trasmessi. In generale però le temperature riscontrate all'interno dei due appartamenti monitorati sono abbastanza simili fra di loro. Il risultato più importante però riguarda l'allineamento dei punti sperimentali lungo la bisettrice. Questo evidenzia quindi come il flusso trasmesso verso l'interno sia molto simile nell'edificio leggero e in quello più massivo. Le due tipologie di pareti, pur avendo una massa e una capacità termica differente, tendono a trasmettere verso l'interno la stessa quantità di flusso, poiché il comportamento è governato soprattutto dallo strato di isolante esterno che riduce la quantità di flusso che arriva allo strato strutturale.

## Conclusioni

L'analisi analitica ha evidenziato il ruolo della conducibilità termica nel meccanismo di trasmissione del calore in regime variabile, chiarendo che per avere delle ottime prestazioni bisogna ridurre la diffusività termica dei materiali mediante la capacità termica oppure la riduzione della conducibilità termica. Questo risultato è stato confermato anche dalle analisi sperimentali, le quali hanno sottolineato come la presenza di una maggior capacità termica della struttura è influente se le pareti sono poco isolate. La presenza di un elevato spessore di materiale isolante comporta inevitabilmente la riduzione del flusso trasmesso e quindi la riduzione dell'importanza della capacità termica della struttura nella trasmissione del calore verso l'interno.

Questi risultati chiariscono quindi che gli edifici in legno possono avere delle buone prestazioni estive anche in climi caldi purché ovviamente siano ben controllati gli apporti solari e gli apporti interni dell'edificio. Per questi, infatti, è importante avere una buona capacità areica interna, la quale può essere aumentata impiegando strati massivi di finitura superficiale interna.

## Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento ai membri del progetto TimBeest e ad ITEA spa per la collaborazione nella raccolta delle misure sperimentali e la condivisione dei dati.

## Bibliografia

- [1] 6° Rapporto Edilizia in legno. FederlegnoArredo. 2021
- [2] DM 26/6/2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. Roma, 2009
- [3] UNI EN ISO 13786 - Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo. Milano, 2018
- [4] H. S. Carslaw e J. C. Jaeger, Conduction of Heat in Solids. Oxford University Press, Oxford, UK, 1959.
- [5] M. G. Davies, Building Heat Transfer. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2004
- [6] DM 11/10/2017 - Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici. Roma, 2017.



# **Riqualificazione profonda e industrializzata. L'esperienza di Energiesprong Italia**

Thomas Miorin  
Edera Srl  
Milan, Italia





# Riqualificazione profonda e industrializzata. L'esperienza di Energiesprong Italia.

Criticità dell'edilizia italiana

L'edilizia – comparto traino per l'economia del Paese – nonostante incentivi fiscali che giungono sino all'85% del valore dell'intervento perdura in una situazione di difficoltà. Tale inerzia evidenzia un blocco strutturale del settore riconducibile ad una convergenza di diversi fattori: una produttività estremamente bassa, sotto-capitalizzazione, frammentazione orizzontale e verticale della filiera, bassi livelli di redditività con conseguenti lacune in ricerca ed innovazione tecnologica che conducono ad un approccio «artigianale» al progetto<sup>1</sup>.

Sebbene la riqualificazione rappresenti un trend crescente che ha creato fatturato ed occupazione, ma, nonostante i numerosi incentivi e fondi volti a salvare un settore ormai in crisi da tempo, il segmento dell'edilizia non ha saputo assorbire il crollo delle nuove realizzazioni presentando a tutt'oggi tassi negativi per numero di occupati e demografia di imprese, mettendo in luce l'inadeguatezza sia degli strumenti sia dei processi di filiera esistenti.

Le conseguenze sui piani ambientali, sociali e economici di queste premesse, meritano una profonda riflessione del soggetto pubblico.

Due fenomeni, in particolare, meritano l'attenzione delle parti sociali: da un lato la **manca di produttività ed efficienza** del settore delle costruzioni rappresenta un problema per la crescita del Paese, dall'altro il patrimonio costruito è un fortissimo **«consumatore» di energia** ed è alla base di un rilevante disagio ambientale nelle parti più urbanizzate.

## 1.1. Resilienza e bassa produttività

Andando in profondità in questi due fenomeni si evince che il settore sta vedendo diminuire la **resilienza e la produttività** del mercato del lavoro per tre ragioni principali:

- **Invecchiamento degli addetti del settore edile:** A breve oltre il 20% degli occupati nel settore avrà oltre 55 anni, mentre nel 2030 la quota degli over 55 supererà il quarto del totale degli addetti. Una quota significativa per un comparto che prevede lavorazioni e processi ad alta intensità di uso delle capacità fisiche. E un problema anche per l'adeguamento a nuovi processi digitali in un settore caratterizzato da un basso livello di formazione e di digitalizzazione.
- **Carenza di giovani:** Il settore manifesta una tendenza internazionale a attrarre sempre meno giovani. Un trend confermato anche in Italia dalle ultime statistiche relative ai corsi di laurea che prevedono uno sbocco professionale nelle costruzioni. La mancanza di nuovi talenti mette a serio rischio la capacità e le possibilità del comparto di innovare e le stesse capacità produttive del settore. A questo si accompagna una classe dirigenziale caratterizzata da grande esperienza, ma intrinsecamente legata a logiche tradizionali che difficilmente si sposano con la necessità di innovazione del settore, sia dal punto di vista tecnico, che da quello tecnologico. Non è un caso se in Italia l'edilizia a secco – di «nuova» generazione – manifesti un ritardo rispetto al resto d'Europa.
- **Basso investimento in innovazione:** In virtù della dimensione d'impresa molto ridotta del settore, dell'arretratezza della classe dirigenziale e della limitatissima redditività che caratterizza le costruzioni, le imprese del comparto presentano un livello di investimento in innovazione molto basso. È necessario avviare con maggior determinazione progetti di innovazione di sistema, aprire nuove linee di esplorazione dei processi di digitalizzazione e delle nuove ConTech (construction technologies). L'innovazione nell'ambiente costruito è un processo sistemico, soprattutto in questa fase

<sup>1</sup> World Economic Forum, Shaping the Future of Construction. Insight to redesign the industry. Marzo 2017

in cui l'evoluzione del settore è fortemente influenzata dai processi di convergenza di edilizia, energia, mobilità e tecnologie dell'informazione. Anche per queste ragioni, a livello internazionale si creano centri di innovazione capaci di supportare le imprese in questa fase di transizione.

La concomitanza di questi tre fattori ha portato come risultato al decremento dell'indice di **produttività** del settore rispetto al comparto manifatturiero (Figura 1), generando quindi perdite economiche sui margini di impresa sia per la produzione che per la progettazione e la gestione.

### INDICE DI PRODUTTIVITÀ DEL LAVORO NELLE **COSTRUZIONI** RISPETTO ALL'INDUSTRIA **MANIFATTURIERA**

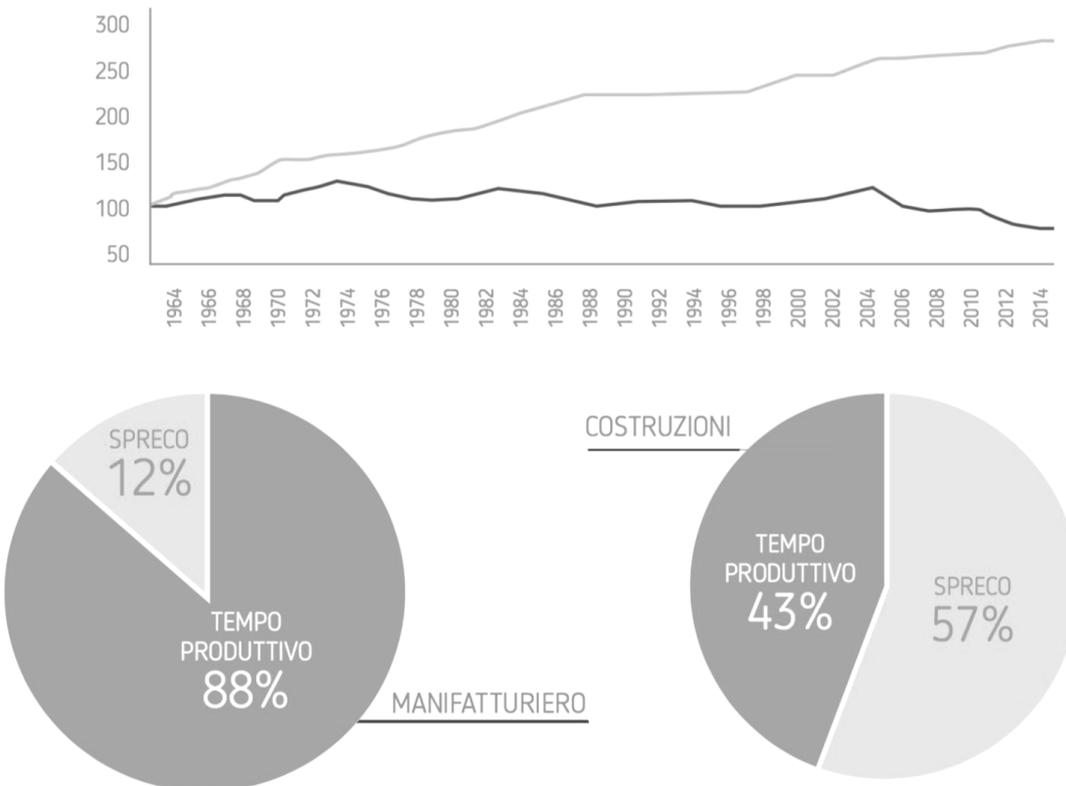


Figura 1: Confronto tra la produttività addetto delle costruzioni vs manifattura.

Fonte: Paul Teicholz, Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), Stanford University.

## 1.2. Edifici Energivori

Il secondo aspetto critico riguarda in realtà non solo l'Italia, ma tutto il globo. In Europa gli edifici sono responsabili di circa il **50% di emissioni di biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>)**.

- L'Italia, con circa 12,2 milioni di edifici residenziali, che corrispondono a oltre 31 milioni di abitazioni, si trova ai vertici europei per incidenza di edifici residenziali (84,3%) sul totale degli immobili, a fronte del 76,4% in Francia e del 68,4% in Germania. Il solo **consumo del residenziale**, seppur inferiore a quello del settore dei trasporti (33%), risulta superiore a quello dell'industria (23%).
- In Italia sono oltre **15 milioni le abitazioni che necessitano un intervento di riqualificazione**, tante quante i minuti che ci separano al 2050, data per la quale l'Energy Roadmap europea richiede una riduzione dell'80% delle emissioni climalteranti: 1 casa al minuto. L'urgenza di passare alla riqualificazione energetica di interi edifici è riconosciuta anche dalla Strategia Energetica Nazionale che cita esplicitamente la «Deep Renovation».

### 1.3. Emergenza abitativa

A completare il quadro critico per il settore edile italiano, oltre ai fattori precedentemente citati, si aggiungono le questioni sociali relativi alla penuria di abitazioni, l'aumento dei costi e la necessità di agire in tempi brevi.

Sul piano sociale sono sempre più significativi gli impatti dell'aumento del **costo reale dell'abitazione**: nelle principali città del mondo tale valore negli ultimi 5 anni tale valore è cresciuto del 24% a fronte di un aumento reale medio degli ingressi di solo l'8%. Congiuntamente all'esplosione dei costi per gli abitanti, vi è una ripercussione a scala statale circa il freno alla crescita del Paese generato dalla mancanza di produttività del settore.

Oltre all'emergenza abitativa, è presente anche un problema di **anzianità del patrimonio**, dato che nel 2020, 8 abitazioni su 10 avranno più di quarant'anni, un'età oltre la quale l'edificio non necessita solo di un semplice efficientamento ma di un intervento di riqualificazione strutturale e sismica, energetica e ambientale, estetica e funzionale che esige risorse non disponibili né dal pubblico né dal privato.

La Germania, che ha un patrimonio immobiliare altrettanto vetusto, ha già definito un piano d'azione per riqualificare 2 case al minuto per i prossimi 20 anni, raddoppiando il tasso di rinnovo odierno (1%-2% annuo) con l'obiettivo di ottenere al 2050 un patrimonio immobiliare nazionale che sia produttore netto di energia. La sfida che l'Italia deve intraprendere sul fronte immobiliare richiede un tasso di riqualificazione del patrimonio molto più elevato e con prestazioni energetiche ben più significative di quelle attuali.

## 2. Energiesprong per la deep renovation

### 2.1. Perché l'off-site?



Figura 2: fasi di montaggio dei pannelli prodotti off-site

Riqualificare 1 casa al minuto con basse disponibilità finanziarie richiede una revisione dei tempi e dei processi nonché dell'attuale paradigma tecnologico delle costruzioni.

Gli obiettivi posti dagli accordi internazionali sul clima ci chiedono di dimezzare le emissioni di CO<sub>2</sub> ogni 10 anni e per fare questo servono soluzioni replicabili velocemente ed efficaci.

**Digitalizzazione** ed edilizia **off-site** (Figura 2), possono avere un ruolo determinante, senza impoverire la qualità e la varietà del prodotto edilizio. La rivoluzione digitale diventa quindi il fattore abilitante alla trasformazione dell'industria edile secondo logiche di ottimizzazione e automazione 4.0, dove il driver tecnologico viene applicato ai prodotti di elevata qualità manifatturiera già esistenti sul mercato, ottimizzando la gestione dei processi senza rinunciare alla personalizzazione del prodotto finale. Se ne evince che il bisogno di aumentare la velocità di produzione – e quindi di riqualificazione del patrimonio – passa dalla necessaria adozione di logiche industriali, le quali risulteranno vincenti a patto di riuscire ad attivare economie di scala. Un processo che deve essere indirizzato a verso una riduzione dei costi di produzione su larga scala, senza però perdere in qualità e unicità del risultato, ovvero abbracciando le logiche di *mass-customization* che oggi guidano il mercato e garantendo performance adeguate nel tempo e paragonabili a quelle delle nuove costruzioni.

## 2.1. Cos'è Energiesprong?

Tra le numerose esperienze internazionali che si occupano del tema della riqualificazione del parco edilizio esistente tramite tecnologie off-site, spicca Energiesprong, quale modello di sostenibilità tecnico-economica replicabile su larga scala, nato in Olanda e con diverse applicazioni su tutto il mondo.

Fare un retrofit secondo il modello di Energiesprong significa fare in modo che una casa sia autonomamente in grado di generare la quantità totale di energia necessaria per il riscaldamento, l'acqua calda e gli elettrodomestici e offrire un comfort interno più elevato. Risultati che si possono ottenere utilizzando nuove tecnologie quali facciate prefabbricate, tetti isolati con pannelli solari già inseriti, riscaldamento intelligente e installazioni impiantistiche di ventilazione e raffreddamento prefabbricate. Una **ristrutturazione edilizia** ed energetica garantita nel tempo, realizzata **in pochi giorni**. La riqualificazione secondo il modello olandese si finanzia anche attraverso il risparmio sui costi energetici futuri, a cui si aggiungono quelli delle manutenzioni e le riparazioni programmate per i successivi 30 anni. Dal punto di vista finanziario i tecnici olandesi hanno lavorato su diversi fronti: con le autorità locali sulle normative e con le banche per creare accordi finanziari in grado di rendere scalabile l'intera operazione. Il decollo, però, è stato possibile grazie agli accordi di retrofit di grandi dimensioni: una condizione che ha invogliato i produttori off-site a investire su componenti industrializzati e personalizzati.

L'esperienza dei Paesi Bassi testimonia la possibilità di innovare in maniera decisa il settore delle costruzioni, aspetto che ha consentito, da un lato, di azzerare i consumi d'energia e, dall'altro, di **abbattere i costi di intervento fino al 40 per cento**. Ma per creare un mercato di massa occorre che il prodotto realizzato sia **desiderabile**, che dia garanzie di performance sul retrofit a lungo termine (sia sul rendimento energetico sia sul microclima interno), che l'intervento edilizio avvenga **in tempi rapidissimi**, che sia economicamente vantaggioso e a basso impatto ambientale (Figura 3).

Le esperienze collezionate in questi anni da Energiesprong sono 5.700 alloggi realizzati in Olanda, 26 quelli in Francia, 15 nel Regno Unito, 12 in Germania, 5 in Italia, realizzato a Luglio 2022. I numeri prendono invece quota se si considerano gli interventi in programma: 14.400 in Olanda, 225 in Gran Bretagna, 6.550 in Francia, 480 in Germania e 170 in Italia. A questi numeri si aggiungono i 46 alloggi in previsione Oltreoceano, nello Stato di New York.

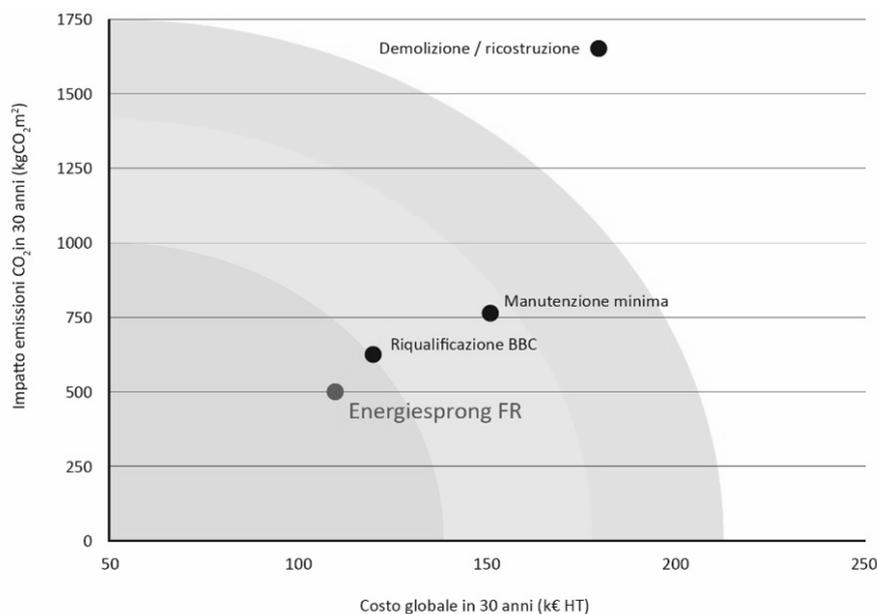


Figura 3: Costo complessivo e impatto medio delle emissioni di carbonio medie sul parco di alloggi sociali francesi (individuali e collettivi). © Energiesprong France

## 2.2. In Italia c'è Edera

Per spingere l'adozione di logiche industrializzate nel mercato italiano quale principale opportunità per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione nella rigenerazione dell'ambiente costruito, circa un anno fa, è nata **Edera**<sup>2</sup>, acronimo di *Enabling Deep Regeneration* (abilitare la rigenerazione profonda). Un'impresa sociale, privata e no-profit, nata grazie al supporto di Fondazione Cariplo, impegnata nel recupero delle periferie portando nel nostro Paese il modello europeo di Energiesprong. Promotori dell'iniziativa sono Ance, l'associazione nazionale dei costruttori edili, Fondazione Housing Sociale e Redo.

L'obiettivo di questo **Centro di innovazione per la decarbonizzazione** è **facilitare lo sviluppo di nuove soluzioni per la rigenerazione dell'ambiente costruito** in Italia, anche facendo leva sull'approccio off-site. Non un ritorno alla prefabbricazione degli anni Sessanta e Settanta, ma una nuova ibridazione delle costruzioni con la manifattura evoluta.

Edera intende contribuire all'innovazione del settore edilizio attraverso (Figura 4):

- una **maggiore velocità** nel processo di rinnovamento edilizio, abilitata da nuove filiere che attraverso una standardizzazione dei processi e delle componenti permettano di raggiungere volumi, prestazioni e profondità di efficientamento necessari per il raggiungimento degli obiettivi energetici;
- la **decarbonizzazione** del settore edilizio residenziale e il contestuale **aumento della qualità** edilizia e della salubrità dell'abitare, con una riduzione dell'inquinamento e della povertà energetica.
- **nuove soluzioni industrializzate**, in grado comprimere i costi di rigenerazione delle periferie attraverso la **digitalizzazione** e l'edilizia **off-site**;

<sup>2</sup> <https://www.energiesprong.it/>

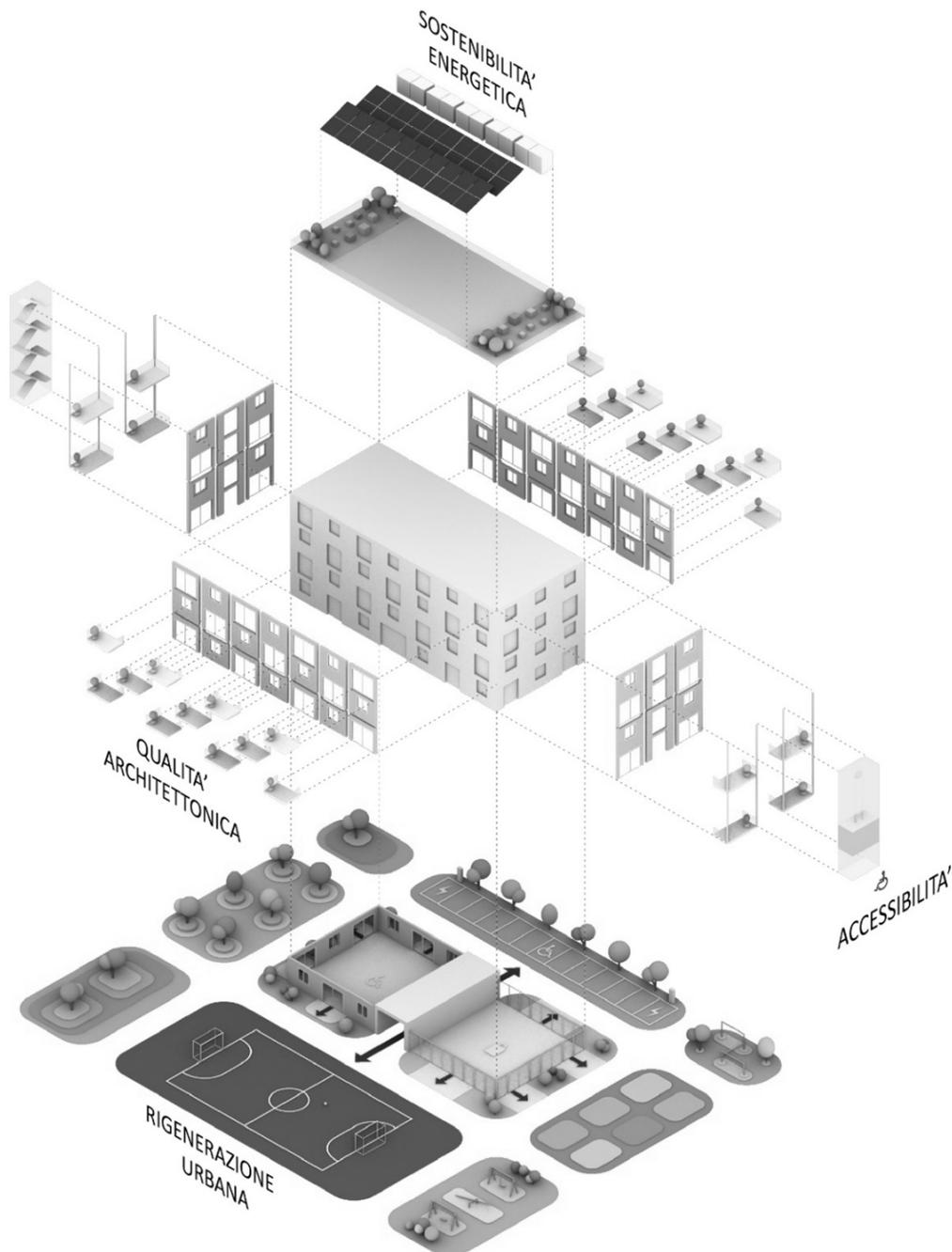


Figura 4: Infografica che riassume i principi guida di Energiesprong Italia: **Rapido** – Trasforma un edificio energivoro in un edificio NZEB in pochi giorni di cantiere; **Inclusivo** – rendendo l'edificio accessibile a tutti e l'intervento economicamente sostenibile grazie all'industrializzazione dei prodotti; **Desiderabile** – grazie alla qualità architettonica e urbanistica ridonata all'area, limitando l'invasività e assicurando l'accessibilità a tutti i soggetti diversamente abili; **Garantito a lungo termine** – La qualità industriale garantisce le prestazioni tramite un modello di business basato su un contratto a lungo termine (fino a 30 anni).

### 2.3. Opportunità e barriere all'applicazione in Italia

L'impresa che Edera si propone è ambiziosa. Il comparto delle costruzioni, infatti, è un settore statico, dove c'è scarsissima innovazione, poca qualità generale, alti costi, bassi profitti, tempi lunghi di produzione e in definitiva minore sostenibilità. Un settore che ha bisogno di una scossa per allinearsi agli standard di altri Paesi se si vuole raggiungere l'obiettivo europeo della decarbonizzazione al 2050. Serve insomma un cambio di passo. Per tali motivi precedentemente spiegati, è stato necessario mantenere un approccio differente da quello di altri Paesi che hanno adottato Energiesprong. All'estero il processo è iniziato a partire dalla domanda, in Italia questo non è stato possibile anche perché l'avvio del Superbonus 110% ha cambiato le carte in tavola. La **domanda** c'era, ma era

**disaggregata, diffusa, di bassa qualità**; per questo è stato necessario ripartire dal fronte dell'offerta, dalle imprese più interessanti, capaci di idee e soluzioni per realizzare interventi industrializzati. Oggi con Edera lavorano già **22 eccellenze italiane** del settore delle costruzioni, tra aziende di livello nazionale e internazionale, che operano con competenze differenti insieme a produttori di facciate prefabbricate in legno, come Woodbeton e Wolf Haus, ma non solo. L'intento è quello di dimostrare che gli incentivi non possono essere l'unica soluzione: il 110% è una misura anticiclica, che non ha avuto un impatto sufficiente nella supply chain in termini di produttività, senza la quale il settore rimarrà dipendente dagli incentivi.

### 3. Il primo progetto Energiesprong in Italia

Il primo intervento Energiesprong del Sud Europa è stato realizzato nel Comune di Corte Franca (BS). **Per la prima volta in Italia un edificio viene riqualificato a livello NZEB con tecnologie off-site**, assemblando i pannelli prefabbricati in meno di una settimana e senza disturbo per gli abitanti, agli stessi costi del tradizionale. Abbandono del gas, produzione energetica sul posto e migliore isolamento riducono le emissioni cumulate al 2050 di oltre il 75% rispetto a stato pre-intervento.

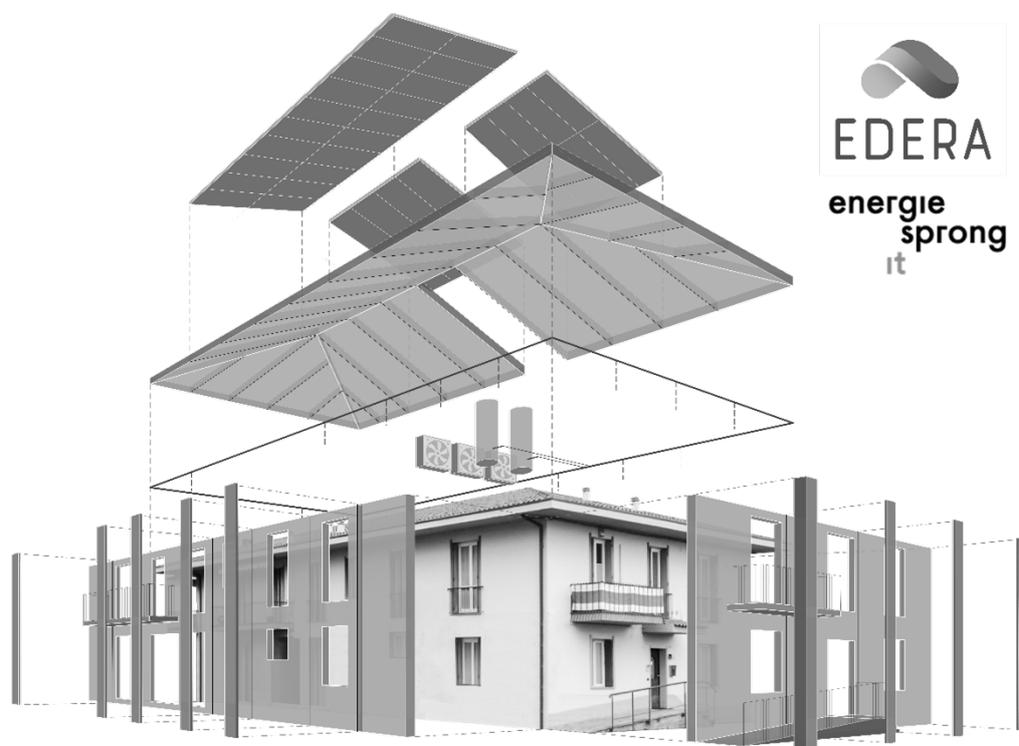


Figura 5: schema dell'intervento Energiesprong

#### 3.1. L'edificio esistente

Il condominio privato oggetto di riqualificazione è un palazzo di 5 alloggi su 2 piani fuori terra situato a Corte Franca (BS). L'edificio è stato scelto poiché rappresenta una tipologia costruttiva tipica dell'edilizia delle periferie del nord Italia: un corpo basso, orizzontale, con balconi disposti puntualmente, un telaio in calcestruzzo armato, tamponamenti in laterizio e una copertura massiva a padiglione finita con tegole marsigliesi.

Inoltre questo specifico corpo edilizio univa diverse difficoltà tecniche che hanno consentito di testare la soluzione sviluppata considerando variabili tecniche che ne ampliano il potenziale di applicabilità. In particolare, le più sfidanti sono state il trattamento dei balconi esistenti – poi sostituiti con elementi prefabbricati in legno, per risolvere le problematiche di ponte termico lineare – e lo sporto di gronda profondo. Per questo ultimo, che rendeva difficoltoso l'avvicinamento del pannello alla facciata tramite il classico bilancino collegato al braccio dell'autogrù, è stato brevettato un sistema di movimentazione specifico dall'azienda esecutrice dei lavori.



Figura 6: l'edificio esistente a Corte Franca (BS) prima dell'intervento.

### 3.2. L'intervento

L'intervento di riqualificazione integrata<sup>3</sup> energetica NZEB e antisismica è stato affrontato tramite nuove facciate e copertura con pannelli prefabbricati con struttura in legno, con una nuova fondazione perimetrale esterna (Figura 7).

La soluzione impiantistica adottata è full-electric con pompa di calore, impianto fotovoltaico completo di sistema di accumulo e impianto solare termico. I nuovi impianti sono collocati nel sottotetto e la distribuzione di calore e acqua calda sanitaria sfrutta i cavedi verticali ricavati nello spessore delle nuove facciate, ispezionabili dall'esterno per le manutenzioni durante il ciclo di vita del fabbricato.

Il progetto dimostra la fattibilità di alcuni importanti requisiti Energiesprong Italia:

- livello prestazione energetica NZEB: indice di consumo energie non rinnovabili -80% (da 214 kWh/mqa a 41 kWh/mqa)
- miglioramento della prestazione antisismica del fabbricato: miglioramento di due classi di rischio sismico e passaggio dell'indice di vulnerabilità da 0,09 a 0,60
- riduzione disagi per gli abitanti, garantendo la continuità abitativa grazie all'installazione dei pannelli prefabbricati del nuovo involucro senza ponteggi in meno di una settimana e con un unico intervento all'interno degli alloggi per la sostituzione dei radiatori con nuovi terminali impiantistici per riscaldamento/raffrescamento con smart system e app per regolazione fine del comfort indoor
- soluzione impiantistica full-electric con pompe di calore da 10,6 kWp per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria, oltre ad accumulo 900 lt ACS sottotetto e distribuzione integrata nello spessore del nuovo involucro
- ottimizzazione generazione energie rinnovabili in sito attraverso l'installazione di un impianto solare termico integrato a pompa di calore per produzione ACS (copertura fabbisogno annuo 57%), impianto fotovoltaico 20 kWp con sistema di accumulo da 46 kWh (copertura fabbisogno annuo 103%)
- riduzione dell'impatto ambientale dell'intero ciclo di vita dell'edificio fino al 2050 (tCO<sub>2</sub>eq/mq) del 55% rispetto a riqualificazione con tecnologie tradizionali a parità di prestazioni energetiche ed antisismiche di progetto e del 75% rispetto a stato pre-intervento (stime preliminari effettuate dal Politecnico di Milano).

<sup>3</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=shy0iKVLrWo>



Figura 7: le fasi di installazione dei pannelli prefabbricati in legno a Corte Franca (BS)

Wood Beton è stata la prima azienda a superare la sfida di Energiesprong Italia, integrando la messa in sicurezza sismica e la prestazione energetica, con soluzioni off-site e a tempi record. I 18 pannelli prefabbricati che rivestono le facciate dell'edificio sono stati installati al ritmo di uno all'ora, con un tempo di installazione complessivo inferiore ad una settimana di lavoro. La tecnologia impiegata prevede l'utilizzo di Rhinoceros Wall®, un sistema costruttivo industrializzato ed integrato senza l'impiego di ponteggi, permettendo agli operatori di lavorare nelle massime condizioni di sicurezza e senza interrompere la quotidianità di chi abita all'interno.

Passaggio importante del processo, nonché il primo da eseguire, riguarda l'analisi dell'esistente, che avviene con l'utilizzo di un drone o di un laser scanner. Da qui si passa alla settorializzazione dei dati raccolti e al disegno tridimensionale, al quale fanno seguito il progetto strutturale ed energetico dell'esoscheletro, i disegni costruttivi di produzione e di montaggio, la produzione delle pareti in stabilimento e, infine, il montaggio in cantiere.

Il progetto ha coinvolto e integrato un'intera filiera, con ciascuna società coinvolta secondo le proprie competenze in un intervento integrato tra sistemi impiantistici e involucro opaco/trasparente.

- Caparol ha fornito i materiali per le finiture delle facciate sistema a cappotto Capatect Minera e ha curato la progettazione dei sistemi di giunzione tra i pannelli prefabbricati per garantire tenuta alle intemperie e durabilità complessiva del sistema;
- INNOVA, ha installato i nuovi terminali impiantistici smart per il riscaldamento, raffrescamento e deumidificazione a ridotta profondità (129 mm) che sostituiscono i radiatori. La generazione del riscaldamento, raffrescamento e ACS viene gestita con delle pompe di calore monoblocco aria/acqua con funzionamento in cascata posizionate in apposito vano tecnico ricavato in copertura e abbinato a solare fotovoltaico con accumulo e solare termico per l'integrazione della produzione di ACS. Grazie al ventilatore tangenziale DC inverter con modulazione continua e la regolazione elettronica modulante, il

terminale raggiunge la temperatura selezionata nel minor tempo possibile e la mantiene costante nel massimo silenzio, con bassissimi consumi elettrici e perfetta stabilità di funzionamento. La regolazione, programmazione e gestione dell'impianto avviene tramite comandi elettronici remoti a muro che, grazie all'antenna wi-fi integrata, permettono una gestione da locale e da remoto mediante l'utilizzo dell'APP INNOVA senza ulteriori cablaggi elettrici;

- ROCKWOOL ha fornito i pannelli Frontrock Max Plus per l'isolamento termico e acustico delle pareti prefabbricate, realizzate in legno. Anche la nuova copertura è stata preassemblata e sostituita a quella preesistente, dopo essere stata coibentata con pannelli in lana di roccia. Diversi sono stati gli obiettivi prestazionali ottenuti: ottimizzazione dell'isolamento e dell'assorbimento acustico; controllo dell'equilibrio igrometrico; riduzione del rischio di incendio e sostenibilità.

### 3.3. Obiettivi raggiunti

Il progetto ha già raggiunto importanti risultati perseguiti da Energiesprong Italia:

- prestazione energetica NZEB: riduzione dell'80% del consumo di energie non rinnovabili
- miglioramento della prestazione antisismica del fabbricato
- riduzione disagi per gli abitanti: installazione nuove pareti in una settimana, senza ponteggi
- soluzione impiantistica full-electric: soluzione indipendente da gas metano
- ottimizzazione generazione energie rinnovabili in sito: impianto fotovoltaico e solare termico
- riduzione dell'impatto ambientale: riduzione 75% emissioni CO2 rispetto a intervento di riqualificazione tradizionale; riduzione 75% rispetto a stato pre-intervento<sup>4</sup> (Figura 8)

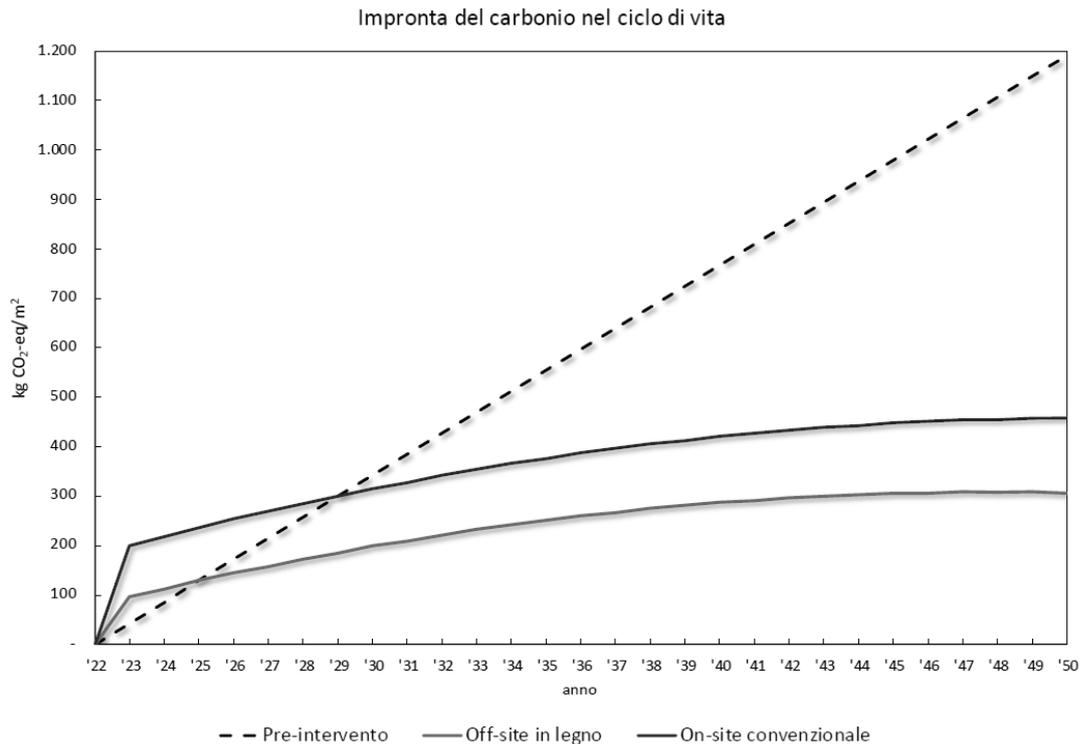


Figura 8: Comparazione dell'impronta del carbonio nel ciclo di vita dell'intervento di Corte Franca (BS) rispetto ad una riqualificazione tradizionale e allo stato di fatto

<sup>4</sup> Stime realizzate dal Politecnico di Milano indicano una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> del 75% rispetto allo stato pre-intervento e del 55% rispetto a un intervento di riqualificazione con tecnologie tradizionali a parità di prestazioni energetiche ed antisismiche di progetto

## 4. I prossimi passi

A distanza di un anno dall'avvio di Energiesprong Italia, sono stati raggiunti i primi significativi risultati: più di 130 aziende italiane sono state coinvolte e sensibilizzate nel processo di selezione Energiesprong e 22 selezionate tra queste. Questa attività ha visto il coinvolgimento diretto di oltre 70 esperti e tecnici e ha visto la nascita delle prime filiere Energiesprong Italia, operative nello sviluppo di soluzioni integrate di riqualificazione profonda (Figura 9). Attualmente sono in fase di studio 4 soluzioni differenti per la riqualificazione industrializzata, sostenute da un percorso di technology transfer con contributi internazionali.

Nello stesso periodo di tempo sono stati valutati 30 edifici di diverse tipologie per l'avvio di interventi Energiesprong. I 7 edifici selezionati interessano un totale di 175 alloggi, di cui 5 abitati da famiglie in condizioni di povertà energetica.



Figura 9: movimentazione di un pannello di facciata integrato prodotto off-site per il primo progetto pilota Energiesprong realizzato a Corte Franca (BS).

I progetti consentiranno di verificare i risultati delle differenti soluzioni tecniche sviluppate ed applicate dalle diverse filiere, e dimostreranno il potenziale di applicazione del modello su edifici esistenti con caratteristiche differenti e diverse tipologie costruttive, tra cui torri, scuole e periferie urbane (Figura 10).

## Gli altri progetti Energiesprong



Porto Mantovano (MN)



Comun Nuovo (BG)



Milano



Treviglio (BG)



Thiene (VI)



Milano (Asilo)

Figura 10: i prossimi interventi Energiesprong in programma

L'obiettivo principale e finale dell'iniziativa Energiesprong Italia è poter mettere a disposizione abitazioni realizzate con costi contenuti e performance sostenibili garantite nel tempo. Il target è quello di rendere possibile la riqualificazione massiva del patrimonio abitativo con tempi e costi contenuti, contrastando la povertà energetica e il cambiamento climatico. L'iniziativa Energiesprong, già adottata con successo in più di 6.000 edifici in molti paesi europei, ha registrato traguardi significativi che si vogliono replicare anche in Italia:

- riduzione di oltre il 50% dei tempi di intervento
- prestazioni energetiche nearly zero energy
- garanzia della continuità abitativa
- garanzia fino a 30 anni delle componenti prodotte e assemblate industrialmente
- riduzione dei costi dal 30% al 40% rispetto a un approccio di tipo tradizionale

Per arrivare a questi traguardi è necessario aumentare la produttività, triplicare la velocità, raddoppiare l'efficacia e la profondità energetica degli interventi di riqualificazione. È una grande sfida.

La riqualificazione proposta punta ad azzerare il fabbisogno di energia casa per casa, garantendo la qualità e le prestazioni nel tempo, riducendo i costi per poter intervenire anche nelle periferie e portando bellezza. Il lavoro con le proprietà immobiliari, con le imprese e l'amministrazione pubblica è iniziato. Ora bisogna correre.

# Come proteggere l'edificio in legno dai rumori esterni

Enrico Manzi  
Enrico Manzi Ingegneria Acustica  
Bologna, San Lazzaro di Savena, Italia





# Come proteggere l'edificio in legno dai rumori esterni

## 1. Progettare acusticamente l'involucro in legno

Quando vengo coinvolto nella progettazione acustica di un edificio in legno, so che dovrò prendere in considerazione alcuni aspetti nel controllo del rumore che sono peculiari di questo materiale e dei suoi sistemi costruttivi.

In particolare, per quanto attiene all'isolamento dai rumori esterni – fermo restando l'imprescindibile contributo dei serramenti – ritengo che occorra studiare con dettaglio alcuni aspetti che qui assumono un ruolo determinante:

- la stratigrafia delle porzioni opache, siano esse in legno lamellare incrociato (CLT o XLAM, per intendersi) o in struttura intelaiata
- i sistemi di giunto sul piano stesso della facciata fra le porzioni opache e gli altri componenti (tipicamente, ma non esclusivamente, finestre e portefinestre)
- i sistemi di giunto fra il piano di facciata e le strutture interne dell'edificio che, all'atto pratico, possono contribuire a trasmettere il suono negli ambienti abitativi all'interno.

Nella visione specifica dell'edificio tradizionale italiano in laterocemento, questi tre temi sono pure determinanti ma ormai di più agevole controllo, in quanto in esso:

- le porzioni opache sono realizzate spesso con elementi e sistemi massivi, con un comportamento *regolare* del potere fonoisolante ed un generalizzato rispetto della legge di massa
- i giunti sul piano di facciata spesso coinvolgono un minor numero di (più ampie) superfici di contatto in spessore, che risultano più agevolmente controllabili con comuni tecniche di sigillatura (senza deroghe, certo, alla corretta posa di queste ultime)
- i giunti fra facciata e strutture interne, se l'edificio nella sua totalità è progettato acusticamente, vedono spesso la favorevole compartecipazione di masse più o meno comparabili fra loro e comunque godono di una formulazione analitica più stabile e consolidata.

Con il punto di vista del progettista, proverò qui a dare riscontro di questi ed altri temi. Necessariamente, precede il tutto un breve inquadramento del parametro acustico descrittore in rapporto a quelli che sono i limiti di legge; seguirà quindi una breve trattazione della formulazione di calcolo che noi progettisti acustici adottiamo, al fine di poter illustrare come gli aspetti che sopra ho richiamato possono essere controllati già nelle analisi previsionali, ed avere poi idoneo riscontro a lavori ultimati.



Figura 1: involucri in legno intelaiato e legno lamellare incrociato a confronto

## 2. Parametro descrittore e valori obiettivo

La grandezza acustica che costituisce il primario riferimento per definire la prestazione fonoisolante dell'involucro di un edificio è l'**isolamento acustico di facciata** (simbolo  $D_{2m,nT}$ ).

Esso corrisponde alla differenza (in decibel [dB]) fra il livello di pressione sonora valutato all'esterno dell'edificio, a 2m di distanza dalla facciata, ed il livello di pressione sonora valutato all'interno dell'edificio, in un ambiente ricevente; l'espressione numerica di questa differenza è *normalizzata* in rapporto al tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente.

Come noto, le grandezze acustiche sono espresse in frequenza; per immediatezza di rappresentazione, anche per questa prestazione acustica specifica, è definito il corrispondente **indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata** (simbolo  $D_{2m,nT,w}$ ).

L'indice è definito come il valore, sempre in decibel [dB], letto in corrispondenza della frequenza di 500Hz su una curva di riferimento che, una volta sovrapposta alla curva definita da  $D_{2m,nT}$ , viene spostata in conformità al metodo convenzionale definito dalla norma UNI EN ISO 717-1.

L'indice  $D_{2m,nT,w}$  è il descrittore utilizzato dalla legislazione tecnica italiana.

In particolare, il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 5 dicembre 1997 «Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici» assegna a questo descrittore dei valori minimi da rispettare in opera, in funzione della destinazione d'uso degli ambienti abitativi oggetto di valutazione, secondo la tabella in figura 2.

Categorie di ambienti abitativi	$D_{2m,nT,w}$
Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	45
Edifici adibiti a residenze, alberghi, pensioni ed attività assimilabili	40
Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	48
Edifici adibiti ad uffici, attività ricreative o di culto, attività commerciali o assimilabili	42

Figura 2: Limiti previsti dal DPCM 5/12/97 per l'isolamento acustico di facciata degli edifici

Per completezza vale la pena ricordare che la legislazione in ambito Criteri Ambientali Minimi (CAM), proprio di recente aggiornata con il Decreto del Ministero della Transizione Ecologica del 23 giugno 2022 «Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi», pure prevede dei minimi prestazionali per l'isolamento acustico di facciata che fanno riferimento ai contenuti della norma UNI 11367 sulla classificazione acustica delle unità immobiliari.

Tuttavia, nell'ambito specifico dell'involucro dell'edificio restano validi i limiti indicati in figura 2, in quanto più restrittivi. Infatti il 'decreto CAM' precisa che, quando esso e il DPCM 5/12/97 prevedono il raggiungimento di prestazioni differenti per lo stesso indicatore, sono valori da conseguire quelli ai quali compete la prestazione migliore.

## 3. Dalla formulazione di calcolo al dimensionamento dei componenti di facciata

La protezione dell'edificio dai rumori esterni, ed a maggior ragione per l'edificio in legno in virtù del processo di costruzione dei suoi elementi compositivi, parte sicuramente in fase progettuale in affiancamento al progetto architettonico, tramite i metodi analitici che le norme tecniche (in particolare la UNI EN ISO 12354-3) e la letteratura tecnica specifica ci rendono disponibili.

Le formule di calcolo sono configurate in modo da acquisire le prestazioni fonoisolanti dei componenti di facciata, e tradurle nel risultato finale conseguibile in opera.

La formula generica di calcolo, riferita per brevità agli indici di valutazione, è la seguente.

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \frac{V}{3S} = [\text{dB}]$$

Essa, coerentemente con il concetto che vede l'involucro dell'edificio come un diaframma che separa ogni ambiente interno dall'esterno, considera l'isolamento acustico di facciata come dipendente:

- dalla prestazione acustica (**l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente  $R'_w$** , valore *in opera*) della porzione di facciata vista dall'interno dell'ambiente ricevente
- dalla forma esterna della facciata, cioè se essa è piana o con aggetti esterni quali balconi, terrazzi, ecc. (il coefficiente  $\Delta L_{fs}$  è tabellato in UNI EN ISO 12354-3)
- dalle dimensioni dell'ambiente ricevente, dalle quali dedurre il volume  $V$  dell'ambiente ricevente e la superficie  $S$  della porzione di facciata.

Ovviamente, il ruolo determinante è attribuito all'indice  $R'_w$ , il quale è analiticamente definito da un'altra formula, più complessa, nella quale convergono tutte le prestazioni acustiche *di laboratorio* dei componenti che possono giacere sul piano della facciata.

$$R'_w = -10 \log \left[ \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{S} 10^{-0,1R_{wj}} + \sum_{i=1}^p \frac{10}{S} 10^{-0,1D_{ne,wi}} + \frac{1}{S} \sum_{k=1}^m l_{sk} 10^{-0,1R_{s,wk}} \right] - K = [\text{dB}]$$

Se riscriviamo la formula sopra sintetizzando i suoi addendi componenti, nella forma:

$$R'_w = -10 \log [A + B + C] - K = [\text{dB}]$$

possiamo considerare che rispettivamente:

- il termine A elabora **l'indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_w$**  (valore di laboratorio) degli  $n$  elementi di superficie  $S_j$  inseriti nel piano di facciata (la porzione opaca, le finestre e le porte finestre)
- il termine B elabora l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato  $D_{ne,w}$  (valore di laboratorio) dei  $p$  piccoli elementi tecnici inseriti nel piano di facciata (p.e. le prese di aerazione o, in certi casi, le sedi dei dispositivi oscuranti)
- il termine C elabora l'indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_{s,w}$  (valore di laboratorio) dei  $m$  giunti (di lunghezza  $l_{sk}$ ) fra gli  $n$  elementi inseriti nel piano di facciata
- il coefficiente  $K$  quantifica la trasmissione laterale del rumore (o di fiancheggiamento) dal piano della facciata alle partizioni verticali/orizzontali che definiscono l'ambiente ricevente.

### 3.1. Porzioni opache

Può sembrare ovvio, ma vale sempre la pena ricordarlo: la progettazione acustica della porzione opaca in legno deve tenere in considerazione il fatto che le strutture lignee hanno ridotta massa superficiale e hanno un comportamento tipicamente ortotropo.

Per questo motivo la prestazione fonoisolante delle porzioni non finestrate:

- farà affidamento solo per quanto possibile alla massa conferita dalla parte strutturale
- inevitabilmente sarà demandata alla performance derivante dal sistema costruttivo, in ragione degli strati aggiunti.

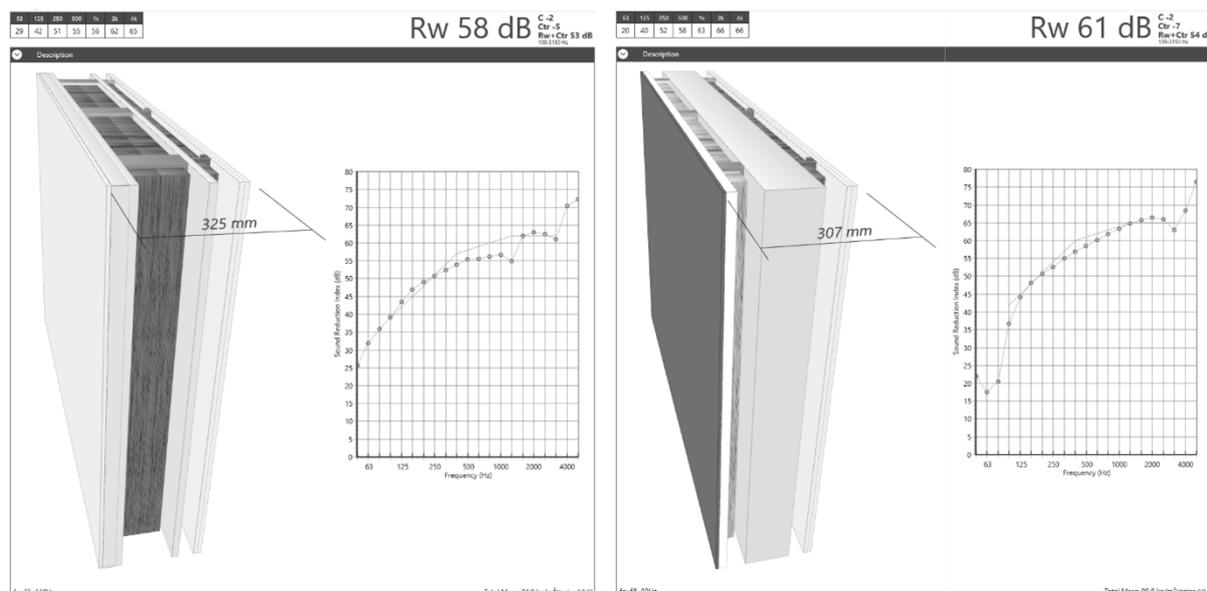


Figura 3: Esempi di output di calcolo previsionale con simulazione software del valore  $R_w$  per una stessa facciata in legno, rispettivamente nelle due ipotesi di struttura a telaio e struttura in CLT.

Nella composizione della stratigrafia di parete, ovviamente governata dagli obiettivi di natura strutturale e energetica, il progettista acustico deve quindi studiare le caratteristiche meccaniche e acustiche correlate agli spessori dei materiali proposti dai Colleghi degli altri settori, avendo soprattutto sempre cura di:

- differenziare, ove possibile, spessori e materiali (cioè le masse a questi correlate)
- controllare i possibili fenomeni di risonanza e coincidenza, in forza dei quali alcuni strati possono presentare lacune di fonoisolamento in ragione dello spessore e delle dimensioni planari
- sfruttare l'apporto delle intercapedini, dosando i materiali fibrosi al loro interno e partecipando, ove possibile, alla definizione dei possibili sistemi di orditura/sostegno.

L'ausilio di software di simulazione acustica della stratigrafia sulla base dei vari layers componenti, come esemplificato dai due output di calcolo in figura 3, può ovviamente contribuire alla scelta definitiva della composizione a telaio o CLT, una volta valutate eventuali riduzioni di prestazione in certi range di frequenza.

## 3.2. Serramenti

È indubbio che la prestazione acustica della facciata, anche nell'edificio in legno, è fortemente condizionata dalla tenuta acustica del serramento (inteso come componente risultante dalla somma di telaio e vetro). Valgono allora tutte le considerazioni che già si fanno su questi componenti anche in tutte le altre tipologie di edifici, 'leggeri' o 'pesanti' che siano.

Nell'ambito dell'edificio in legno, mi sento però di evidenziare quello che consegue dalla frequentemente grande estensione superficiale che spesso questi componenti hanno.

Quando gran parte della porzione di involucro che separa un singolo ambiente dall'esterno è occupata da un serramento, occorre dunque tenere presente i seguenti aspetti.

### 3.2.1. La vetrata deve avere una stratigrafia acusticamente adeguata.

- è indispensabile ricorrere a vetrata con entrambe le lastre stratificate e di diverso spessore
- se la vetrata è tripla, i vetri esterni che la compongono dovrebbero rispettare lo stesso principio sopra richiamato e, possibilmente, anche le due camere isolanti dovrebbero avere spessore differente

Trovandoci spesso, nella pratica professionale, nelle condizioni di dover stimare 'sul momento' la prestazione acustica del solo vetro, in studio abbiamo elaborato alcune formule previsionali dell'indice  $R_w$  di vetrata.

Ne riporto in figura 4 una tabella di sintesi, che può essere utile al Lettore –in assenza di certificati di laboratorio o software previsionali, ai quali comunque è indispensabile rimandarsi nella progettazione di dettaglio– per una prima stima di massima (con criterio di accuratezza, come da UNI EN 12354, rispettato nel 75÷80% dei casi).

raggruppamento	vetrocamera a lastre semplici	vetrocamera con una lastra stratificata	vetrocamera a 2 lastre stratificate
spessore camera ≤ 12mm senza gas nobile	$R_w = 19,5\text{Log}(m') + 5,5$	$R_w = 21\text{Log}(t) + 10$	$R_w = 15,5\text{Log}(t) + 19,5$
spessore camera > 12mm senza gas nobile	$R_w = 24,5\text{Log}(m') - 1$	$R_w = 34,5\text{Log}(t) - 11,5$	$R_w = 50\text{Log}(t) - 33,5$
spessore camera qualsiasi con gas nobile	$R_w = 30\text{Log}(m') - 7,5$	$R_w = 36\text{Log}(t) - 12$	$R_w = 32,2\text{Log}(t) - 3$

$m'$  massa superficiale dell'intero vetrocamera –  $t$  [mm] somma degli spessori delle lastre e della camera

Figura 4: formule di regressione per la stima dell'indice  $R_w$  di vetricecamera

### 3.2.2. Non trascurare che il potere fonoisolante di un componente tende a diminuire all'aumentare della sua superficie, a parità delle altre sue caratteristiche.

Questa è una regola ormai consolidata, confermata anche dall'algoritmo descritto nella norma di prodotto UNI EN 14351-1, specifica per finestre e porte esterne.

Il progettista acustico, sulla base delle informazioni sul  $R_w$  campione che il Fornitore deve rendere disponibili per il modello di serramento previsto a progetto, può quindi prevedere il valore  $R_w$  di ogni singola forometria prevista dall'abaco finestre, al fine di trasferire tale prestazione nella formula di calcolo relativa ad ogni singolo ambiente dell'edificio.

### 3.2.3. Controllare l'efficacia acustica dei giunti perimetrali dei battenti.

Il potere fonoisolante di una finestra ad un battente (tipica configurazione base certificata in laboratorio) difficilmente sarà uguale (!), a parità di sezione telaio e vetro, a quello di una portafinestra a due ante battenti.

Questo è un tema che può essere compiutamente risolto con l'ausilio di due o più certificati di prova di laboratorio. Per esempio, a parità di sezione del telaio e vetratura inseritavi, un certificato su infisso ad un solo battente ed un altro su infisso a due battenti, permettono di valutare la tenuta del giunto interno di battuta.

In assenza di prove di laboratorio (anche se per serramenti ad elevate prestazioni acustiche sono quasi inderogabili), è possibile procedere con il progetto acustico della facciata solo se il progettista acustico ha una elevata conoscenza del comparto serramenti, al fine di poter prevedere la prestazione acustica del prodotto in ragione delle forometrie di facciata e dei sistemi di movimentazione dei battenti.

Sempre a titolo di esempio, in figura 5 si riportano le curve prestazionali ottenute in laboratorio su uno stesso serramento testato in tre differenti configurazioni (in sede di qualifica tecnica pro offerta verso cantiere):

- vetro con  $R_w$  41dB in telaio con due guarnizioni (curva 001 tratteggiata)
- vetro con  $R_w$  44dB in telaio con due guarnizioni (curva 002 continua)
- vetro con  $R_w$  44dB in telaio con tre guarnizioni (curva 003 continua doppia)

al fine di avere un ordine di grandezza pratico degli effetti legati al potenziamento del vetro o del sistema di guarnizioni.

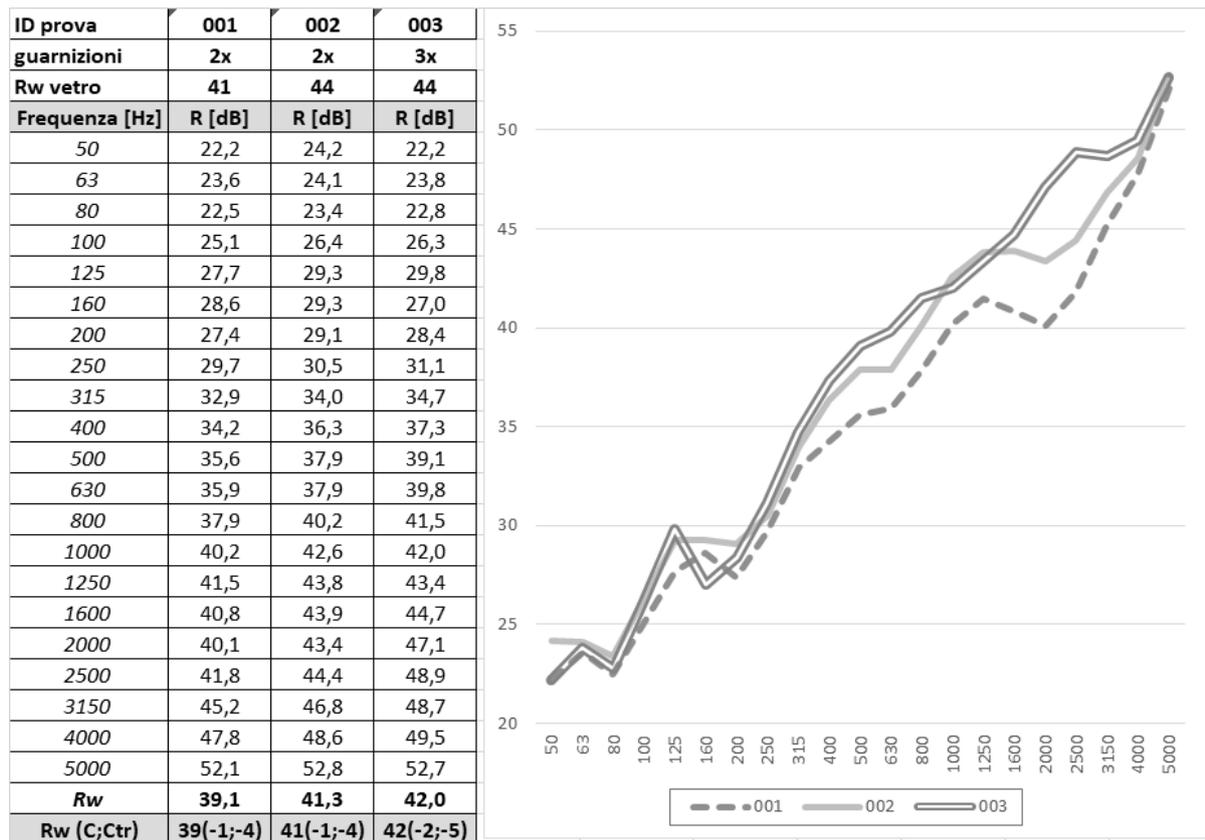


Figura 5: variazione dell'indice  $R_w$  di un serramento portafinestra a due ante al variare dell'indice  $R_w$  del vetro e del numero di guarnizioni

### 3.3. Piccoli elementi

Per piccoli elementi, in acustica, tipicamente si intendono le prese d'aria o i componenti nei quali alloggiano i sistemi avvolgibili di oscuramento (quando questi non sono integrati nel serramento).

La loro prestazione caratteristica è l'isolamento acustico del piccolo elemento, con indice  $D_{ne,w}$  specifico del fatto che la loro superficie è inferiore a  $1 \text{ m}^2$  ( $D_{ne,w}$  può comunque essere convertito in  $R_w$ , in funzione della superficie esposta al suono): essa è inevitabilmente demandata ad una certificazione di prodotto, corredata da un test di laboratorio.

Accorgimenti importanti possono essere, in fase progettuale:

- selezionare (o predisporre nel progetto impiantistico), ove possibile, prese aria configurate in modo che la sezione interna e la sezione esterna non siano esattamente coassiali, in modo che il suono esterno sia costretto ad un percorso con curve invece che diretto; la presenza di intercapedini nella struttura della facciata in legno, può essere di aiuto in questo senso
- predisporre griglie terminali esterne afoniche
- configurare la sezione tipo della parete in legno in modo che l'involucro scatolare degli alloggiamenti degli avvolgibili possa essere acusticamente 'rinforzato' da lastre aggiunte in OSB, MDF o similari.

Al di là di quanto sia possibile fare in fase progettuale in merito alla prestazione acustica del componente di per sé, il progettista acustico dovrà controllare in sede esecutiva la corretta posa e, soprattutto, la corretta sigillatura con componenti appositi certificati.

### 3.4. Giunti e intercapedini sigillate

La prestazione fonoisolante di un giunto sul piano è descritta dal potere fonoisolante del giunto, con relativo indice  $R_{s,w}$ : si tratta anche in questo caso di una grandezza omologa al potere fonoisolante generico  $R_w$  visto in precedenza.

Questo descrittore, determinato tramite test di laboratorio secondo quanto descritto in UNI EN ISO 10140-1, consente di confrontare prodotti quali materiali di riempimento, nastri e schiume con finalità sigillanti, oppure per determinare l'isolamento di elementi composti (per esempio una porzione di parete con una finestra) in ragione della lunghezza effettiva delle linee di giunto.

Il suo ruolo è quindi determinante nella valutazione della tenuta acustica dei giunti parete/finestra, una volta noto il sigillante in uso e presunta una sua corretta posa.

Particolarmente rilevante è una tabella di riferimento contenuta in UNI 11296, riportata in figura 6, che correla la prestazione acustica del sigillante al potere fonoisolante del serramento sul quale esso opera. Evidentemente, questa tabella fornisce un indirizzo chiaro sulla selezione dei prodotti al fine di ottimizzare l'isolamento acustico della facciata in legno, considerato che spesso qui le richieste prestazionali sui serramenti sono elevate (superiori ai 40dB, e oltre) proprio, come detto prima, in ragione delle elevati dimensioni superficiali.

<b><math>R_w</math> serramento</b>	<b><math>R_{s,w}</math> sigillante</b>
33	$\geq 45$
36	$\geq 50$
39	$\geq 55$
$\geq 40$	$\geq 58$

Figura 6: (rif. UNI 11296) Prestazioni acustiche di riferimento dei sigillanti in funzione dell'indice di valutazione del potere fonoisolante del serramento.

### 3.5. Trasmissione laterale

L'algoritmo di calcolo contenuto nella norma UNI EN ISO 12354-3 considera il contributo della trasmissione laterale 'solitamente trascurabile', a meno che non vi siano connessioni di elementi rigidi/pesanti in facciata ad altri elementi rigidi/pesanti all'interno dell'edificio. In tale caso, la norma ammette di incorporare in via globale il fenomeno diminuendo il potere fonoisolante apparente della parete attribuendo a K un valore pari a 2dB.

Nei tempi recenti, vi sono stati molti studi e approfondimenti sullo studio dei giunti fra gli elementi lignei in CLT e a telaio; nelle due norme UNI EN ISO 12354-1 e UNI 11175-1 si trovano esplicitati criteri di approccio e formulazioni analitiche per gestire i giunti fra la facciata in legno e i divisori interni che compongono l'ambiente ricevente.

Esistono poi diverse pubblicazioni scientifiche che consentono di avere un'idea globale del comportamento acustico vibrazionale del giunto strutturale tipico per le facciate, cioè il giunto a T, sia nel caso in cui vi siano interposti dei materiali resilienti (come accade nel giunto facciata/solaio) sia nel caso in cui il giunto non sia acusticamente isolato.

In ragione di questa evoluzione del settore, per quella che è l'esperienza dello scrivente, pare limitante ridurre la valutazione della trasmissione laterale ad un mero coefficiente additivo globale che, proprio nel caso specifico dell'edilizia multipiano in legno, non sembra essere in grado di interpretare validamente tutte le linee di giunto ai vari piani; e questo anche in considerazione della varianza (e della non rigidità) dei collegamenti in carpenteria metallica.

Ben venga quindi, ove possibile, procedere ad un'analisi previsionale di calcolo anche della trasmissione laterale del suono fra facciata in legno e pareti interne all'edificio; inoltre sarà d'aiuto al progettista acustico per meglio comprendere il concept strutturale dell'edificio, con utili risvolti nella fase di controllo dei lavori.

## 4. I risultati su un caso reale

Un recente caso applicativo che ci ha visto coinvolti sia nell'assistenza in cantiere sia nella verifica delle prestazioni in opera relative all'isolamento acustico di facciata, è quello di una lottizzazione privata in provincia di Lodi, nella quale sono in via di realizzazione una quindicina di ville residenziali, tutte in legno con struttura in CLT.



Figura 7: Lottizzazione in provincia di Lodi, con realizzazione di ville a uno o due piani, con struttura in CLT.

La possibilità di seguire con continuità un cantiere di questa dimensione, realizzato dallo stesso gruppo immobiliare, ha consentito di analizzare:

- l'efficacia di alcune soluzioni tipologiche in termini di stratigrafia dell'involucro esterno
- la riproducibilità dei risultati di fonoisolamento in rapporto alle dimensioni dei vani
- la varianza prestazionale in funzione dell'adozione di specifici componenti di facciata

senza dover mettere in conto la variabile della posa in opera, poiché i lavori in cantiere sono svolti dalle stesse squadre con metodiche ormai consolidate.

Le lavorazioni sono ancora in corso, ed oggi i primi risultati che possono intanto essere messi a sistema sono quelli inerenti la prestazione acustica  $D_{2m,nT,w}$  in rapporto alla tipologia di involucro, all'estensione del serramento ed alle dimensioni dell'ambiente abitativo. Si veda il prospetto di sintesi in figura 8 con i valori prestazionali emersi da alcune prove.

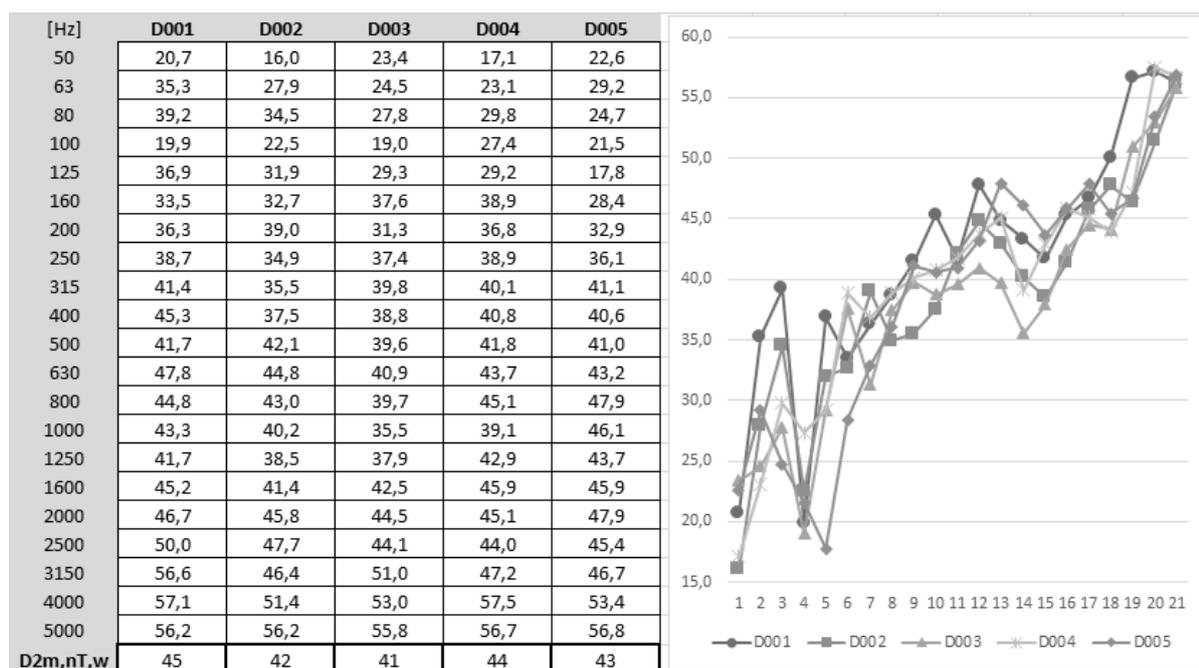


Figura 8: Serie di risultati della verifica in opera dell'isolamento acustico di facciata.

Anche in situazioni con serramenti apribili di grandi dimensioni, come quello in figura 9, i risultati sono tutti nel rispetto del valore limite di legge.



Figura 9: Misura dell'isolamento acustico di facciata in soggiorno con serramento di 6,20m di lunghezza (indice  $R_w$  risultante pari a 41dB).

Questo caso applicativo esteso sarà sicuramente utile per svolgere una analisi di feedback al fine di avere ulteriori conferme della bontà sia del metodo di calcolo qui richiamato sia di quei *correttivi esperienziali* sul dimensionamento delle stratigrafie in CLT e dei serramenti, indispensabili per gestire congruamente l'accuratezza del calcolo previsionale.



**Uno sguardo al futuro**



# ZHA Design and research on wood

Michele Salvi  
Senior Associate @ Zaha Hadid Architect  
London, UK





# ZHA Design and research on wood

## 1. Forest Green Rovers Eco Park Stadium, UK

The Eco Park stadium for Forest Green Rovers will be an important addition for the community. The club's heritage, ambition and vision reflect ZHA's own, combining the latest material research and construction techniques with new design approaches to build a more ecologically sustainable and inclusive architecture. Forest Green Rovers have established a holistic vision for the site to retain its pastoral qualities whilst adding new facilities for the town. While the stadium will be the centrepiece, the project creates a new public realm with both recreational and occupational uses, enabling the entire site to contribute to the town - not only on match days, but every day of the year. The design retains and enhances the existing meadow landscape of the site whilst adding the stadium and other functions for the town. Embodying low carbon construction methods and operational processes, it will be the first all timber football stadium with almost every element made of sustainably sourced timber including its structure, roof cantilevers and louvered cladding. As a building material, timber is highly durable, recyclable and beautiful. The proximity of the stadium's structural elements to each other has also been determined to enable the seating terraces and floor slab to be made from timber. In most other stadiums, these elements are concrete or steel.

The stadium's roof is covered with a transparent membrane, which contributes to turf growth, minimizes stark shadows for players and fans and reduces the volumetric impact of the stadium from distant views in the surrounding landscape. With the team's community and supporters at its core, fans will be as close as five meters from the pitch and the position of every seat has been calculated to provide excellent, unrestricted views of the entire field of play. The stadium's continuous spectator bowl surrounding the pitch will maximise matchday atmosphere. The stadium's design incorporates the club's future growth. Initially for 5,000 spectators, increasing to 10,000 with the club's success, expansion from phase 1 to phase 2 can be achieved without the costs of major construction works. Forest Green Rovers' new stadium and Eco Park aims to be carbon neutral or carbon negative, including measures such as the provision of on-site renewable energy generation. The buildings on the site, and their embodied energy, play a substantial role in achieving this ambitious target and demonstrate sustainable architecture can be dynamic and beautiful.

The Zaha Hadid Architects' designed stadium will be the centrepiece of the £100million Eco Park development - Ecotricity's 100 acre sports and green technology business park proposal, beside junction 13 of the M5 in Gloucestershire. Half of Eco Park will consist of state-of-the-art sporting facilities, including the new stadium, grass and all-weather training pitches, publicly accessible multi-disciplinary facilities, and a sports science hub. The other half will comprise a green technology business park with sustainably built commercial offices and light industrial units, giving Eco Park the potential to create up to 4,000 jobs, including room for the continued expansion of green energy company Ecotricity, who have submitted the overall proposal and who are already the biggest employer in Stroud with 700 people located across four sites. The proposal will also see the development of a nature reserve on the site, a potential public transport hub, including a Stroud Park and Ride, as well as help with the restoration of the Stroudwater canal.



Figure 1: View of the Stadium



Figure 2: View of the concourse

## 2. London Aquatics Centre, UK

The architectural concept of the London Aquatics Centre is inspired by the fluid geometry of water in motion, creating spaces and a surrounding environment in sympathy with the river landscape of the Olympic Park. An undulating roof sweeps up from the ground as a wave - enclosing the pools of the Centre with its unifying gesture of fluidity, whilst also describing the volume of the swimming and diving pools. The London Aquatics Centre is designed to have the flexibility to accommodate the size and capacity of the London 2012 Olympic Games whilst also providing the optimum size and capacity for use in Legacy mode after the 2012 Games.

The London Aquatics Centre is located at the south eastern edge of Queen Elizabeth Olympic Park on the new Stratford City Bridge giving pedestrian access to the park from the new Stratford City development and public transportation.

The Aquatics Centre is planned on an orthogonal axis perpendicular to the Stratford City Bridge. Along this axis are laid out the three pools. The training pool is located under the bridge whilst the competition and diving pools are within a large volumetric pool hall. The overall strategy is to frame the base of the pool hall as a podium by surrounding it and connecting it into the bridge.

This podium element allows for the containment of a variety of differentiated and cellular programmatic elements into a single architectural volume which is seen to be completely assimilated with the bridge and the landscape. The podium emerges from the bridge to cascade around the pool hall to the lower level of the canal. The pool hall is expressed above the podium level by a large roof which arches along the same axis as the pools. Its form is generated by the sightlines for the spectators during the Olympic mode. Double-curvature geometry has been used to create a structure of parabolic arches that define its form. The roof undulates to differentiate the volumes of the competition and diving pools, and extends beyond the pool hall envelope to cover the external areas of the podium and entrance on the bridge.

At concept design, the architect's intent for a timber ceiling and external cladding were well developed. Preference for Red Louro, a Brazilian hardwood, was indicated due to its durability and natural resistance to graffiti and fire which eliminates the need for harsh chemical treatments. An independent review of sustainable sources of Red Louro highlighted insufficient quantities of sustainable timber to meet the Aquatics Centre's demand of 485m<sup>3</sup>. This knowledge, obtained over a year before timbers were installed on site, allowed the contractor to challenge their supply chain to resolve the issue. Alternative timbers were not considered technically or architecturally appropriate. The selected supplier, proposed a solution combining an internal Red Louro veneer on birch plywood with solid Red Louro external cladding. The validity of the proposal was independently tested.

This innovative proposal enabled the ceiling to be delivered with 50 per cent less Red Louro, all sourced from a credible Forest Stewardship Council (FSC) supply, while retaining the original architectural intent. In addition, the laminate solution enabled the replacement of 40 tonnes of secondary steel with Kerto structural timbers and permitted pieces to be fully prefabricated off-site with minimal wastage or energy-intensive steam treatment. The resultant cost savings from this initiative are approximately £140,000.



Figure 3: Bridge view of Aquatics Centre



Figure 4: View of the interior wooden ceiling

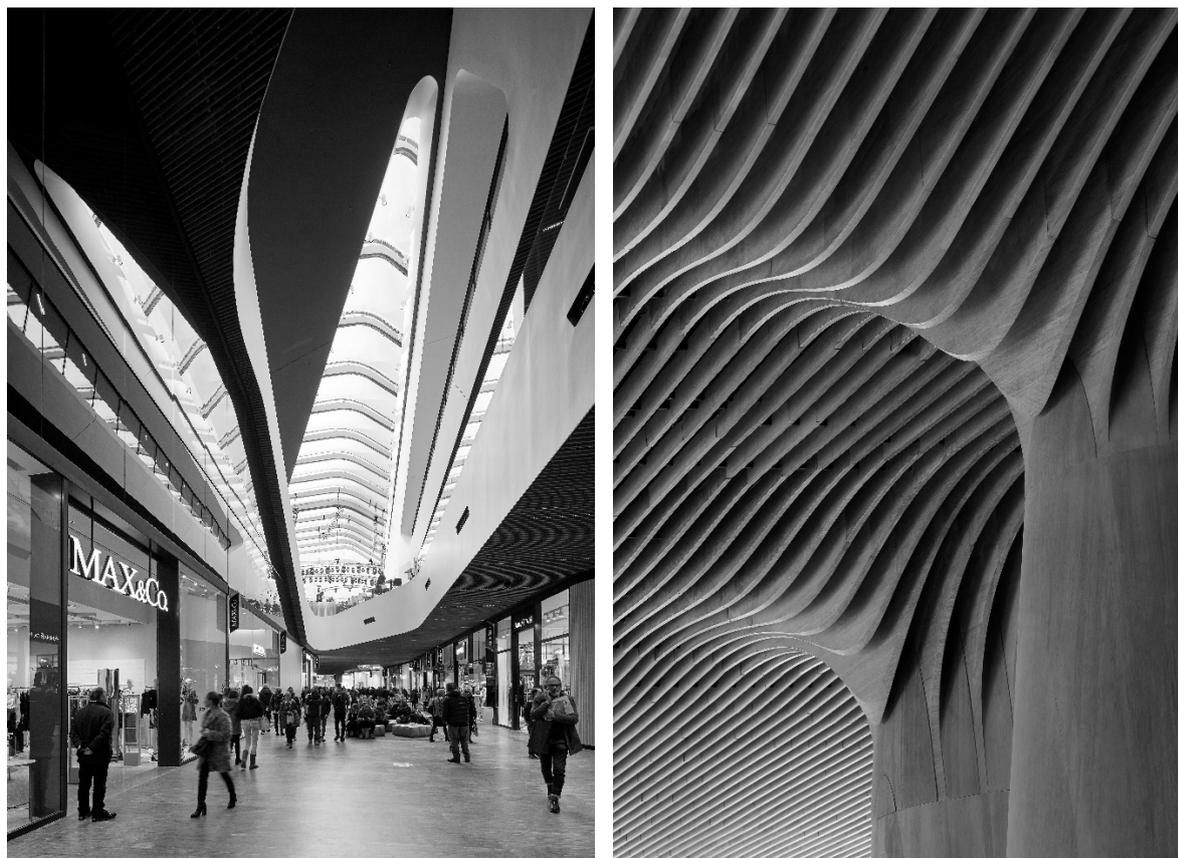
### 3. City Life Shopping District, Italy

Located above Tre Torri station on the M5 line of Milan's Metro network, CityLife Shopping District integrates a new public park with indoor and outdoor piazzas, food hall, restaurants, cafes, shops and cinema as well as facilities for health and wellbeing. The 32,000m<sup>2</sup> shopping district welcomes over seven million visitors each year. CityLife is one of Europe's largest redevelopment projects and includes 1,000 new homes, offices for almost 10,000 staff, the new 42-acre park, piazzas and kindergarten.

Defined by the three axes of the city that converge within CityLife, the shopping district's composition continues the geometries of the connecting 44-storey Generali Tower occupied by the insurer's 3,000 staff based in Milan. These formal geometries are aligned with the city's axes at street level, but twist incrementally as the tower rises, orientating its higher floors to face the Duomo, Milan's renowned cathedral at the centre of the city.

Bamboo flooring, ceilings and columns welcome visitors to the shopping district's interior. Selected for its warmth and tactility, engineered bamboo is extremely durable and can be procured in a large quantity from sustainable sources. The solidity of the bamboo floor and columns meets the louvered bamboo ceiling at the capitals of each column, expressing a unity between the solid and porous surfaces. Two sculptural bamboo café counters follow this fluid design language

Assembled with resins under high pressure, engineered bamboo blocks were carved by 5-axis CNC milling and hand-finished to create the shopping district's interior columns, capitals and counters. The 90-acre CityLife redevelopment opens Milan's old trade fair grounds to year-round civic use and integrates the new public park with Milan's most extensive pedestrian zone, creating the largest new public space in the city in more than 120 years. Designed and constructed to reduce energy consumption and emissions, the projects within CityLife have received LEED Gold certification from the US Green Building Council (USGBC).



Figures 5,6: Interiors of the shopping gallery

#### 4. Sleuk Rith Institute, Cambodia

The Sleuk Rith Institute – a new institution and genocide memorial in the Cambodian capital Phnom Penh – brings together a museum, research centre, graduate school, document archives and research library. The institute will house the Documentation Centre of Cambodia's one million documents in its archives and, as the largest collection of genocide related material in Southeast Asia, will become a global centre for education and research into the documentation, causes and prevention of genocide.

The Institute's name Sleuk Rith means 'the power of the leaves'. Cambodian religious leaders have used dried leaves for centuries and scholars to document history, disseminate knowledge, and preserve culture during periods of harsh rule and grave peril. The institute's design is organized as five wooden structures that are separate volumes at ground level, but interweave and link together as they rise upwards; connecting the different departments, visitors, students and staff within a singular whole. With an overall footprint of 80m x 30m at the base and 88m x 38m at roof level, the structures range between three to eight storeys. Each of these five buildings will house a different function: the Sleuk Rith Institute; a library holding the largest collection of genocide-related material in Southeast Asia; a graduate school focussing on genocide, conflicts and human rights studies; a research centre and archive to influence national and regional policies and discourse; a media centre and an auditorium that can be used by the institute and the entire community.

The architecture of the ancient temple site Angkor Wat, and Cambodia's many other remarkable Angkorian sites, builds complexity by combining and interlocking a multitude of geometric forms in a formal progression of connected enclosures. As they gain in height and coalesce, the Sleuk Rith Institute's five buildings define an intricate spatial composition of connecting volumes; generating a series of exterior and interior spaces that flow into each other to guide visitors through the different areas for contemplation, education, engagement and discussion. The design connects the museum, library, school and institute at various levels, allowing different users to interact and collaborate, enhancing their

understanding and experience. Yet each of the institute's functions is also able to operate independently when required. Constructed from sustainably-sourced timber, the primary structure, exterior shading and interior partitions give natural scale, warmth and materiality. The more complex forms have been designed and engineered to be assembled from economical straight and single-curved timber sections with established technologies.

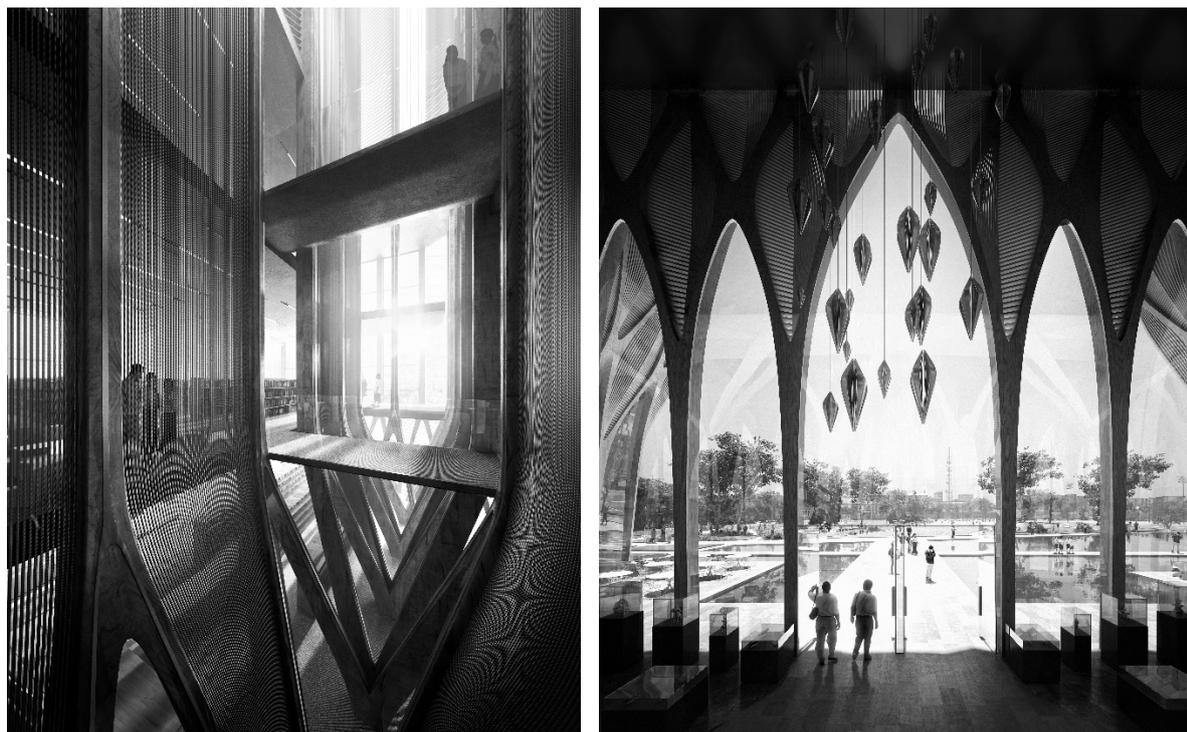
To accommodate Cambodia's tropical climate, the narrower lower levels of the institute are shaded by the building's form, while louvers on the upper levels keep out strong sunshine. Located at the confluence of the Mekong and Tonlé Sap Rivers, the institute's buildings will be built on raised terraces, to protect from Phnom Penh's seasonal flooding.

The building's passive design – including measures to reduce energy and water consumption while increasing system efficiencies, and the installation of renewable energy sources – will increase its ecological performance. The institute's form minimises solar gain, and the external shading system will be varied on each elevation to reduce solar gain whilst maintaining sufficient daylight levels where required. Thermal buffer zones protect the sensitive archive and exhibition spaces and further reduce energy consumption. Waste water will be treated on-site via bio-reactors or a natural plant-based wastewater treatment system that can be incorporated within the park. The horizontal roof of the building is hidden from view to house renewable energy sources that are extremely effective in Phnom Penh's climate: photovoltaic cells for power and a solar thermal array for hot water generation. Plant and air-system heat exchangers will also be located on the roof, maximizing the area within the building for the institute's commemorative, educational, cultural and community programs.

The institute includes a 68,000 sq.m. memorial park for the entire community with sport fields, urban vegetable garden and fruit orchards, traditional meadows and a forest that will house contemporary Cambodian sculptures, many of these commemorating the women that helped to rebuild the country. The park slopes away from the building to provide further protection against seasonal flooding. The park is landscaped to become a large retention pond during heavy monsoon rains, alleviating the city's existing flood drainage. The park's many pedestrian paths link together neighboring streets that had previously been disconnected, inviting the local community into the heart of the institute.



Figure 7: Aerial view of the complex



Figures 8, 9: Interior views

## 5. Vilnius Railway Station

Integral to the city's ongoing sustainability agenda that prioritizes pedestrians and cyclists, Zaha Hadid Architects' proposal to upgrade Vilnius railway station incorporates a new public bridge over the railway tracks that connects the Naujininkai district to the south with the city centre and Vilnius old town; transforming the existing rail infrastructure from being a barrier that divides the city into a connector that unites Vilnius and serves as a transport hub for national and local rail services in addition to the new Rail Baltic line that links with Europe's high-speed network.

The renovation and reuse of the original station creates a new 9,500m<sup>2</sup> concourse bridge that is a contemporary reinterpretation informed by the existing heritage building.

The composition of the station's new bridge gradually transforms along its length; from the pitched roof defined by the existing neoclassical station's triangular pediment into softer geometries and volumes that reduce in scale to land at Pelosos Street in the Naujininkai district. A linear skylight along the length of the bridge and glazed facades over the railway tracks provide natural light and intuitive navigation through the concourse.

Removing the temporary kiosks and offices installed over recent decades, the clarity of the existing 9,000m<sup>2</sup> station is restored and linked with a new public transport terminal for the city's bus networks. Designed as an inhabited landscape within the upgraded Stoties Square park in front of the station, the terminal's outdoor amphitheatre and ramp lead to a public terrace on its roof.

Relocating the existing car parking in Stoties Square to a new underground facility, the square and its adjacent park will become a vibrant civic space for the city with over 300 new trees and 4,000m<sup>2</sup> of landscaping including the creation of tree-lined avenues along its main axes and water gardens for the natural collection, filtration and purification of rainwater.

The new concourse bridge is 46 metres wide and spans 150 meters across the railway platforms. Supported 10 metres above the tracks, the fluid forms of the bridge's roof structure and the terraced landscape of the bus terminal are constructed in locally-sourced laminated timber that is lightweight, fire resistant and incorporates low embodied carbon. Nature-based solutions are integral to the design. Green roofs, landscaping and planting will lower temperatures in summer and provide heat insulation in the winter. Creating an

interconnected series of natural habitats within the city, these urban green spaces are easily accessible and can be enjoyed by communities throughout the year to enhance wellbeing and interaction.

Zaha Hadid Architects' design to renovate Vilnius Railway Station and surrounding areas also incorporates energy production technologies and depolluting strategies to improve air quality within its adjacent neighbourhoods. Annual solar radiation analysis has defined the facades to maximise sunlight within its interiors in winter and reduce glare in the summer. This analysis also determined the positioning of photovoltaic panels for optimum efficiency.



Figures 10: Aerial view of the complex



Figures 11: Terminal concourse view

# **Sistema strutturale ibrido (legno+FRP) per copertura di ampie luci**

Francesco Milano  
MSc. ITECH  
University of Stuttgart  
Knippershelbig  
Stuttgart, Germany





# Sistema strutturale ibrido (legno+FRP) per copertura di ampie luci

## ITECH Master Thesis 2020

**Autori: Guillaume Caussarieu, Francesco Milano, Niccolò Dambrosio, Nikolas Früh, Prof. Achim Menges, Prof. Jan Knippers.**

Il presente progetto di ricerca corrisponde alla tesi di laurea sviluppata nel 2020 dall'autore (in collaborazione con Guillaume Caussarieu), nel marco dell ITECH Master Program presso l'Università di Stoccarda. Consiste nello sviluppo di un innovativo sistema strutturale capace di coprire ampie luci (+30m), basato sulla combinazione di elementi modulari costruiti in legno lamellare e fibra di carbonio.

## 1. Introduzione

Analizzando l'evoluzione dell'arte del costruire vediamo come l'umanità abbia sempre dovuto disimpegnarsi in elaborati esercizi di creatività per sopperire all'eventuale scarsità di risorse. L'era preindustriale, infatti, si identifica con un atteggiamento di generale parsimonia nell'uso di materiali ed energia, ed il conseguente sviluppo di tecniche caratterizzate da un elevato grado di efficienza. Soluzioni quali la «*Charpente à petits bois*», sviluppata da Philibert de l'Orme nel 16° secolo, offrono un esempio di come questo spirito, combinato con un grado di sperimentazione ed empirismo, abbia prodotto risultati eccezionali dal punto di vista tecnico/strutturale.

Con l'avvento dell'era industriale ed il crescente sfruttamento di fonti energetiche fossili, tuttavia, la competitività di soluzioni artigianali altamente ottimizzate (ma esigenti in termini di lavorazione) venne meno rispetto a sistemi costruttivi più rigidi e dispendiosi a livello materiale, i quali proliferarono giustificati da un'economia di scala.

Nel moderno contesto costruttivo, criteri quali standardizzazione e velocità tendono a prevalere su specificità strutturale ed economia di risorse.

Tuttavia, con l'aggravarsi della crisi climatica e ambientale, con sempre più urgenza emerge la necessità da parte dell'umanità di svincolarsi da processi energivori e poco attenti all'economia del materiale. Questa asserzione è particolarmente significativa se si considera che al giorno d'oggi l'industria delle costruzioni è responsabile di circa il 36% della domanda di energia globale, e di circa il 40% delle emissioni globali di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera. Inoltre, la domanda di materiali quali cemento e ferro è cresciuta del 4% ogni anno tra il 2000 ed il 2015 a causa della crescente domanda da parte di paesi in via di sviluppo (*United Nations Environment Programme and International Energy Agency, 2018*), il che sottolinea la necessità di un repentino cambio di rotta.

In questo senso, le moderne tecnologie di disegno e fabbricazione digitale, unite agli sviluppi recenti della scienza dei materiali, offrono possibilità eccezionali.

## 2. Obiettivo del progetto

Il progetto pone come obiettivo lo studio di nuove soluzioni nel campo del disegno di coperture per grandi luci. Data questa premessa, la ricerca ha adottato come ispirazione un modello storico notevole per la particolare efficienza: la *Belfast Truss*. Quest'ultima consiste in una peculiare tipologia di capriata lignea, che fu estensivamente impiegata in Irlanda per la copertura dei primi edifici industriali, negli anni '60 del XIX secolo (*Fig.1*). Storicamente si compone di un elemento orizzontale inferiore (tirante) e da un elemento superiore curvo (arco) che si collegano a ciascuna estremità; tra i due elementi si interpone inoltre un reticolo di listelli di sezione minore. Grazie a questa particolare configurazione la trave è un esempio di eleganza strutturale ed efficienza materiale: caratterizzata da un'estrema leggerezza, è in grado di coprire luci fino a 30 metri.

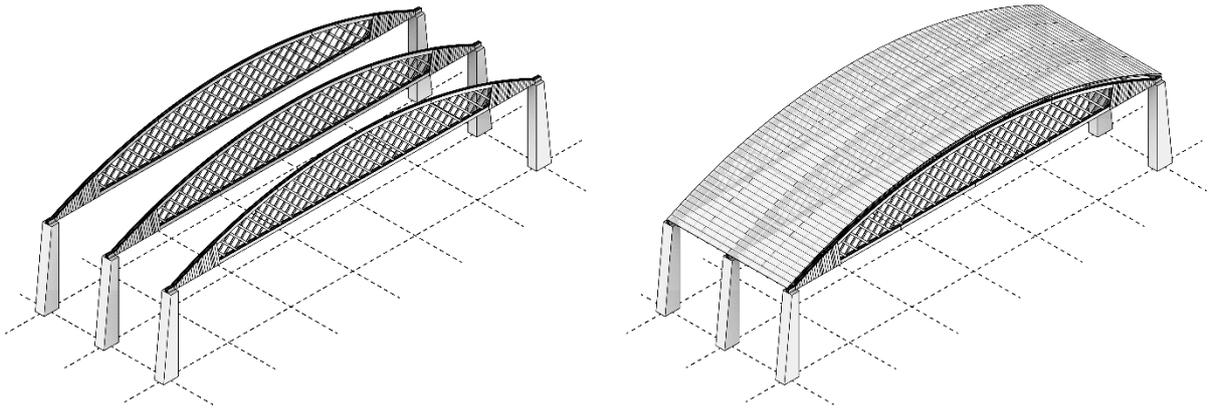


Figure 1: Belfast Truss

Questo riferimento è stato rielaborato in versione contemporanea, alla luce degli attuali sviluppi della scienza dei materiali, del disegno computazionale e delle tecnologie di fabbricazione robotica. In questa nuova versione, gli elementi superiore ed inferiore sono costituiti da 2 «strisce» di legno lamellare (LVL, plywood) curvato, appositamente preparate mediante fresatura lungo i bordi per ricevere una trama «tessuta» in FRP (fibre reinforced plastic). Durante il processo di fabbricazione, il legno è curvato elasticamente, ed usato come frame per la deposizione della fibra. Una volta «indurita», la fibra mantiene in posizione la parte lignea in una configurazione ad arco, la quale apporta un beneficio dal punto di vista strutturale (Fig.2).

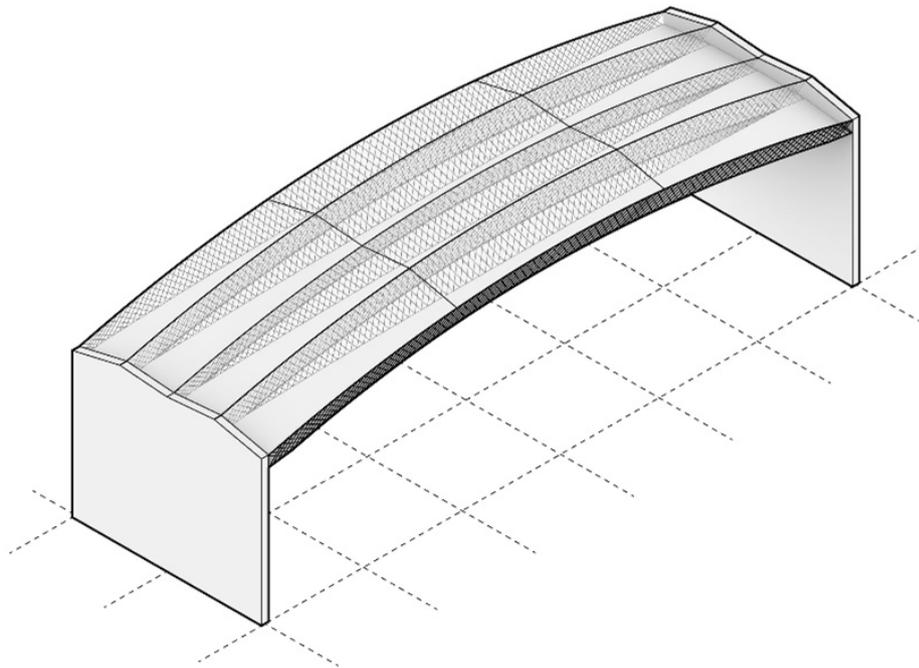


Figure 2: il nuovo sistema strutturale, ispirato dalla Belfast Truss.

Nell'economia della trave, l'elemento ligneo superiore tende a lavorare in compressione, mentre quello inferiore in tensione (anche se per effetto del risucchio del vento le forze si possono invertire). Lo spazio presente tra i due costituisce la profondità strutturale della trave, occupata ai due estremi dalle fibre, che costituiscono l'elemento di unione ed assorbono gli sforzi di taglio.

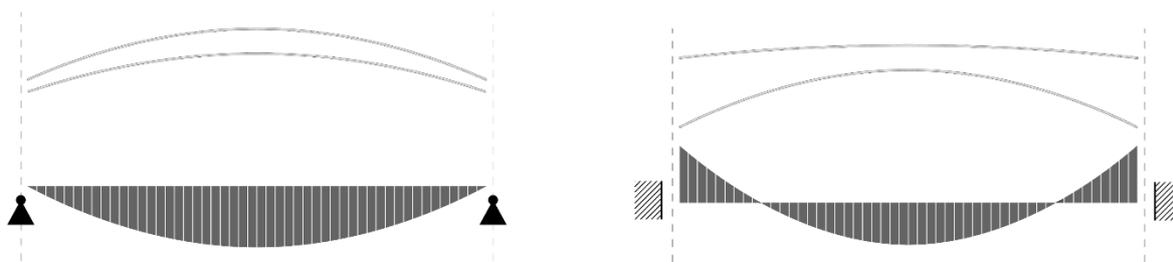


Figure 3: la geometria delle due strisce di legno possono adattarsi a diverse distribuzioni degli sforzi interni derivanti da diverse situazioni di supporto.

Tanto la geometria globale della trave, quanto la quantità e l'assetto delle fibre, come lo spessore del legno, sono parametri che possono variare in relazione a requisiti strutturali come il tipo di supporti e la distanza tra essi (Fig. 3 e 4).

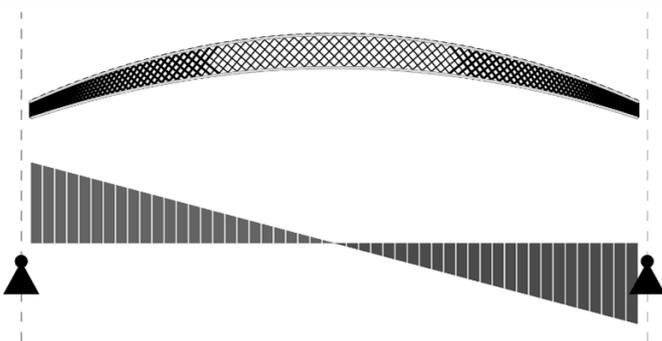


Figure 4: geometria e densità delle fibre che collegano le due parti lignee possono essere create su misura per rispondere esattamente agli sforzi di taglio previsti nella trave.

La curvatura dell'elemento superiore, oltre alla suddetta funzione strutturale, costituisce lo strato di copertura caratterizzato da un'inclinazione sufficiente a garantire lo scorrimento delle acque meteoriche. Inoltre, la cavità compresa tra le varie parti costituisce uno spazio che può essere sfruttato per l'inclusione degli impianti.

Il sistema è dunque modulare, basato su elementi prefabbricati di facile posa in opera, e include in un solo elemento varie funzionalità proprie di un sistema di copertura.

Il processo di ricerca ha previsto lo sviluppo di tale sistema, la sua analisi dal punto di vista strutturale, lo studio della sua fattibilità in termini produttivi, nonché delle sue potenzialità dal punto di vista architettonico.

### 3. Contesto

Il sistema proposto si colloca all'intersezione di diversi campi di studio.

Se visto dal punto di vista strutturale, contribuisce a categorie tematiche quali la ricerca della leggerezza nell'ingegneria civile (*lightweight structures*) e lo sviluppo di sistemi atti a coprire ampie luci. Tipologicamente si associa a elementi quali le strutture reticolari e i cosiddetti «*stressed skin panels*».

Da un punto di vista materiale, si contestualizza nella ricerca dei materiali compositi (FRP) – e più specificamente nell'uso di tecniche quali il *fibre winding* – oltre che nel campo del legno ingegnerizzato. Di quest'ultimo sfrutta la flessibilità, toccando il tema dell'*active bending*. Infine, dal punto di vista del metodo di fabbricazione, si relaziona con tematiche quali la fabbricazione robotica e la prefabbricazione.

### 4. Sviluppo

Data l'ipotesi di creare un elemento strutturale leggero ed efficiente – ispirato nella *Belfast Truss* - usando le moderne tecnologie di disegno e fabbricazione, il riscontro dell'effettiva efficacia del sistema ha richiesto una serie di sviluppi di dettaglio e test materiali.

## 4.1. Scelta dei materiali

Per la parte in legno, LVL e CLT sono stati presi in considerazione in quanto disponibili in produzione nella lunghezza necessaria a generare il sistema teorizzato (fino a 25m). Inoltre sono materiali anisotropi (le fibre del legno possono essere orientate prevalentemente in una sola direzione), condizione che si concilia con la necessità di piegare il materiale nella sua configurazione finale.

Per controllare la capacità del legno di piegarsi effettivamente nella configurazione di progetto senza rischi di rottura, un apposito programma di analisi è stato generato ed usato (Fig.5). Per la parte fibrosa è stata usata fibra di carbonio in combinazione con una matrice *epoxi*.

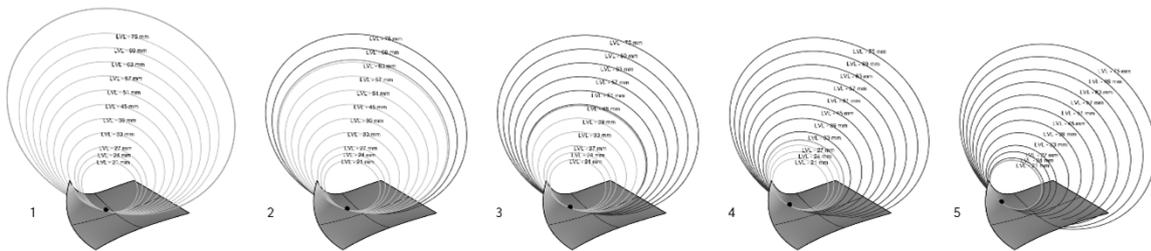


Figure 5: programma di analisi del materiale. Con l'aumentare del grado di curvatura diminuisce il set di materiali disponibili.

## 4.2. Design

Il sistema strutturale prevede la creazione di un involucro architettonico mediante la curvatura di lunghe «strisce» di legno ingegnerizzato. Durante la fase progettuale della copertura, questo dato deve essere considerato attentamente, poiché non tutte le superfici possono essere discretizzate mediante un pattern di strisce sviluppabili (Fig.6).

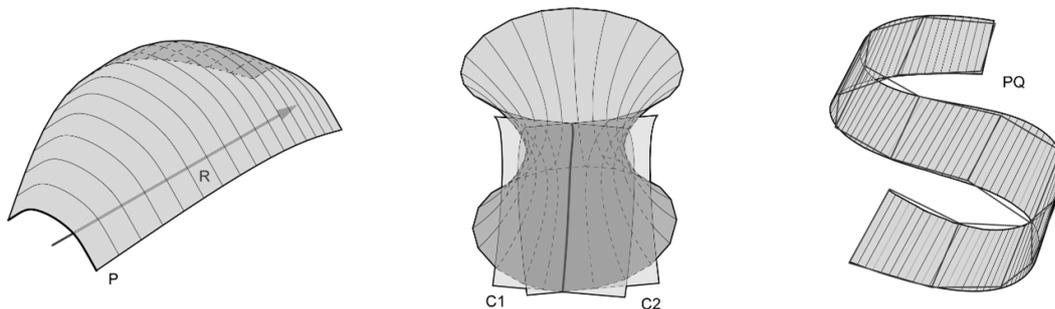


Figure 6: tre metodi geometrici per la creazione di superfici anticlastiche composte dall'unione di «strisce sviluppabili». 1) *Ruling between two edges that have a simple Scale (Homothetic) relationship* (Postle, 2012). 2) *apparent Contours* (Francisco González Quintal, 2013). 3) *Refinement of a PQ Strip with perturbed subdivision* (Pottman, 2012).

Per ampliare la versatilità ed assecondare il potenziale espressivo di questo approccio, si è resa fondamentale l'inclusione – nel flusso di lavoro – di un metodo di progettazione digitale consapevole dei limiti di fabbricazione del sistema. In questo senso, due strumenti software sono stati sviluppati: un programma basato su semplici regole geometriche, che permette generare superfici anticlastiche costituite dall'accostamento di superfici sviluppabili, ed un processo di ottimizzazione a posteriori (Fig.7).

Entrambi gli strumenti permettono di generare un repertorio geometrico vasto, dimostrando l'effettiva versatilità del sistema, e la sua flessibilità nell'adattarsi ad eventuali requisiti geometrici particolari (e.g. superfici *free-form*).

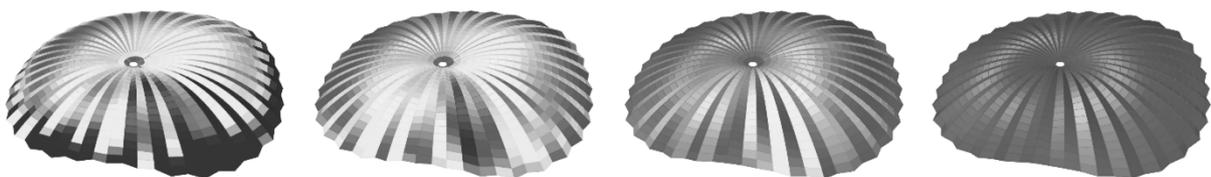


Figure 7: processo di ottimizzazione della Mesh per produrre un set di strisce sviluppabili in assetto radiale

### 4.3. Dettagli costruttivi

Uno degli aspetti fondamentali della ricerca consiste nello sviluppo delle numerose soluzioni di dettaglio che caratterizzano la trave, e costituiscono elemento di connessione tra le diverse parti. Le principali sono:

#### 4.3.1. Connessioni legno-fibra



Figure 8: tre soluzioni per l'interfaccia legno-FRP.

Uno dei punti cruciali dello studio corrisponde allo sviluppo della connessione tra gli elementi in fibra ed i bordi longitudinali delle due tavole di legno curvato (Fig.8). Come visto in precedenza, la parte fibrosa viene creata mediante una tecnica definita *filament winding*. Quest'ultima consiste nell'intrecciare un filamento continuo attorno a una serie di perni disposti su un telaio precostituito. Nel nostro caso, il telaio corrisponde alle due tavole di legno, curvate e bloccate in posizione. L'operazione di deposizione viene realizzata in forma automatica mediante un robot antropomorfo a 7 assi. I bordi delle tavole sono dunque stati previamente fresati con una particolare geometria a dente di sega, in modo da poter ricevere il filamento senza bisogno di elementi terzi. Il dettaglio è dunque caratterizzato da un elevato livello di integrazione, ma essendo stato sviluppato ad hoc ha richiesto la produzione di prototipi e l'esecuzione di accurati test strutturali.

#### 4.3.2. Supporti

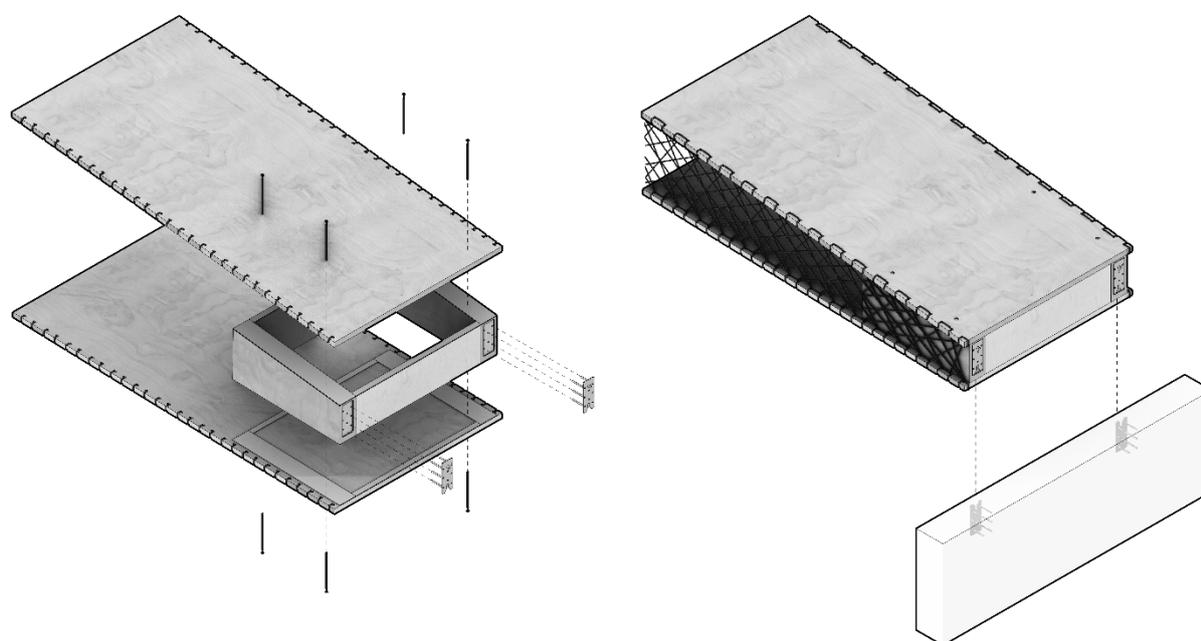


Figure 9: schema di costruzione dell'estremità del componente in caso di collegamento articolato (non rigido)

Una delle parti più critiche della struttura è costituita dalle due estremità, in cui diverse forze in gioco si concentrano esercitando sollecitazioni notevoli tanto sulla parte lignea come sulla parte fibrosa. Inoltre, tali punti corrispondono ai supporti strutturali, condizione che richiede la presenza di un elemento solido, che possa garantire un ancoraggio.

Per rispondere a questa condizione, un dettaglio costituito da un elemento scatolare ligneo è stato sviluppato, il quale può adattarsi a diverse condizioni di rigidità del supporto (Fig.9). Il collegamento tra suddetto elemento e la trave di bordo può essere risolto tanto con elementi proprietari (e.g *Knapp Riccon*), quanto con soluzioni di carpenteria tradizionale.

#### 4.3.3. Connessioni tra componenti adiacenti

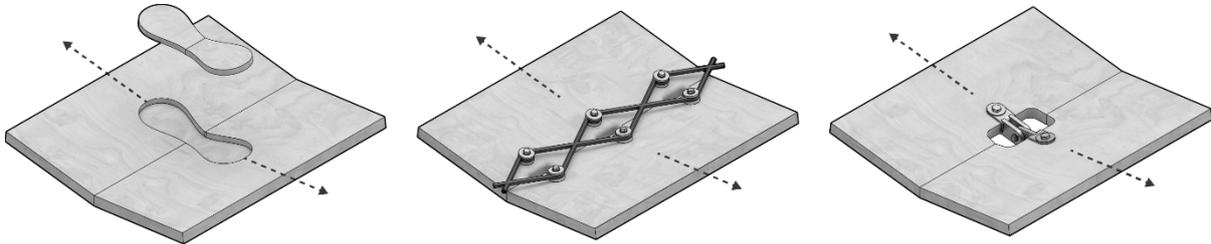


Figure 10: tre soluzioni per la connessione di componenti adiacenti

Per assicurare il corretto posizionamento e garantire l'effettivo trasferimento dei carichi, è necessario che componenti adiacenti siano collegati tra loro.

In questo senso, diverse opzioni sono state prese in considerazione tra cui: finger joints, cerniere metalliche inchiodate alla superficie lignea, incastri a coda di rondine, e cuciture in fibra di carbonio (Fig.10). Tuttavia, nell'economia del progetto, priorità è stata data allo sviluppo del singolo componente piuttosto che del sistema globale, per cui la scelta della soluzione ottimale per questo tipo di connessione, così come il suo sviluppo, sarà oggetto di future evoluzioni.

#### 4.3.4. Segmentazione della trave e connessioni trasversali

Date le notevoli dimensioni dei moduli strutturali (+30m), la possibilità che gli stessi siano suddivisi in parti di minor lunghezza è stata presa in considerazione. Tale opzione garantisce migliore gestione del processo di prefabbricazione ed assemblaggio, ma introduce la necessità di un elemento di unione addizionale.

### 4.4. Fibre syntax

Il *fibre winding*, in quanto tecnica di fabbricazione additiva, permette di produrre elementi altamente customizzati, caratterizzati dalla strategica presenza di più materiale nei punti più sollecitati a livello strutturale. Permette inoltre controllare la direzione delle fibre in modo che essa sia strategica rispetto alla direzione delle forze da fronteggiare.

Il termine *fibre syntax* definisce la sequenza con cui il filamento di fibra di carbonio viene fissato ai punti di ancoraggio presenti sul frame; a diverse sequenze di deposizione corrispondono diverse prestazioni dell'elemento finale. Lo sviluppo di una syntax adeguata è dunque stata una delle tappe più importanti nello sviluppo del sistema trave (Fig.11).

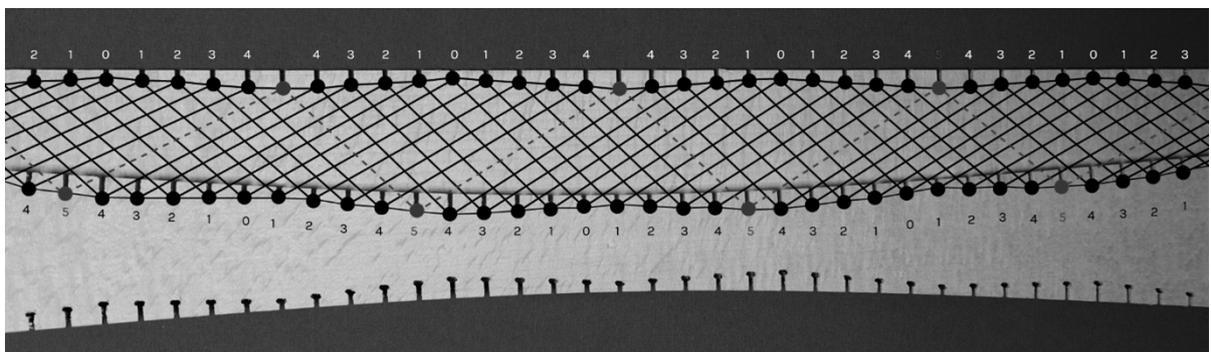


Figure 11: studio della syntax (sequenza di collegamento dei perni durante il processo di deposizione del filamento di fibra di carbonio)

Come visto in precedenza, la fibra svolge nel sistema funzioni strutturali diverse: separa i due elementi lignei creando profondità strutturale, trasferisce le forze di taglio che agiscono tra di essi, ed infine contrasta la flessione locale dell'elemento superiore sotto l'effetto del carico. Per rispondere a questa molteplicità funzionale, si è deciso di usare due

sequenze sovrapposte: la prima, più densa e regolare, collega punti di ancoraggio del bordo superiore ed inferiore paralleli tra loro, ed ha uno scopo generale di stabilizzazione del sistema. La seconda, caratterizzata da una maggiore inclinazione, è pensata come rinforzo locale per le zone più sollecitate.

Due fattori hanno inoltre influenzato la ricerca in questo campo – entrambi volti a minimizzare i rischi di instabilità: la necessità di generare il maggior numero possibile di interazioni tra le fibre, e la necessità di far lavorare le fibre il più possibile in tensione;

#### 4.5. Strategie di fabbricazione

Per combinare qualità ed efficienza, la fabbricazione e l'assemblaggio sono aspetti fondamentali da considerare. È risaputo che la prefabbricazione offre risultati di alta qualità, poiché può avvenire in un ambiente controllato. Tuttavia, essa presenta anche notevoli svantaggi, come l'inefficienza di trasportare pezzi normalmente voluminosi. D'altro canto, quando la fabbricazione è eseguita in loco l'inefficienza può riguardare l'aspetto costruttivo, nonché la qualità di esecuzione può essere pregiudicata dall'assenza di macchinari specifici e processi industriali. Date queste considerazioni, la ricerca propone un processo di fabbricazione ibrido, che punta a trarre vantaggio da entrambi i metodi. Le piastre di legno verrebbero fresate in fabbrica e successivamente trasportate in cantiere. Qui, tramite il fissaggio agli elementi scatolari laterali, e con l'aiuto di appositi distanziatori, verrebbero elasticamente formate nella configurazione finale, e bloccate in posizione con l'introduzione delle fibre. Per la deposizione *on-site* delle fibre, si propone lo sviluppo di una cella robotica trasportabile, argomento che non ha riguardato l'attuale ricerca ma che potrebbe essere affrontato in futuro. Una volta prodotti, i componenti sarebbero sollevati e collocati nella posizione finale con una gru di portata ridotta grazie alla loro peculiare leggerezza.

#### 4.6. Integrazioni architettoniche

Oltre agli imprescindibili sviluppi tecnici, la ricerca ha previsto lo studio di come alcuni elementi architettonici complementari potrebbero essere implementati all'interno del concetto. Con strutture a lunga campata, l'illuminazione dell'area coperta è generalmente complicata; si è dunque pensato a come introdurre aperture sul tetto in modo coerente con la logica del sistema. Tre soluzioni sono state proposte (Fig.12).

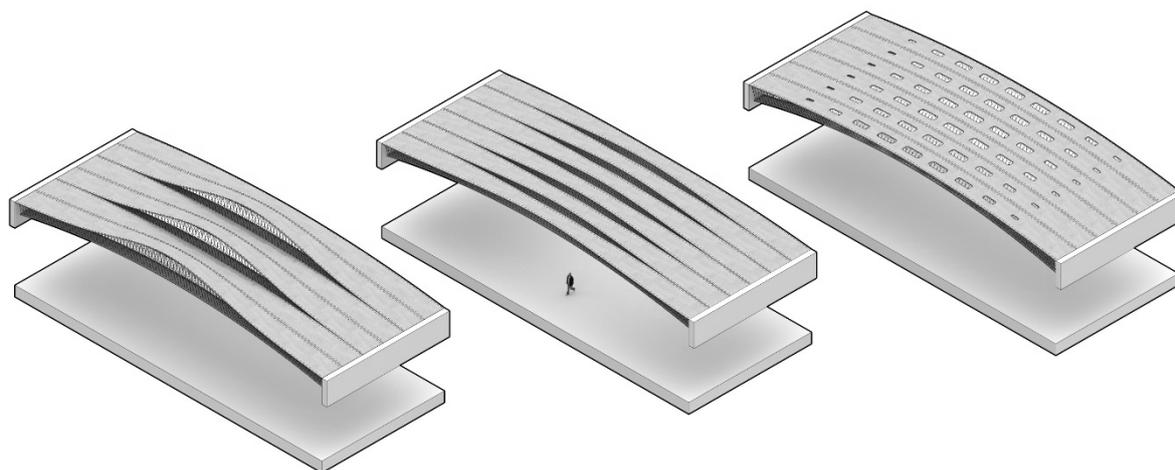


Figure 12: possibili strategie per la coerente introduzione di aperture nel sistema strutturale.

#### 4.7. Prototipo

Per dimostrare la fattibilità del sistema, il processo di ricerca ha previsto la costruzione di un prototipo in scala 1:5 (Fig.13). L'elemento strutturale risultante, caratterizzato da 6m di lunghezza, è stato realizzato presso le strutture dell'Università di Stoccarda.

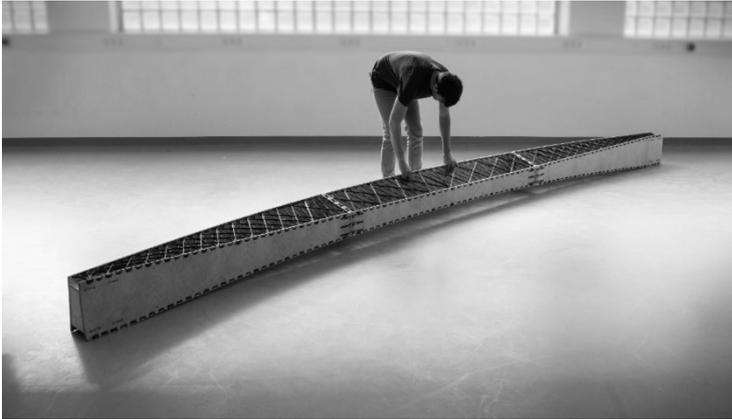


Figure 13: prototipo scala 1:5.

## 5. Conclusione

Ispirata da un riferimento storico eccellente (*Belfast Truss*), la presente ricerca getta le basi per lo sviluppo di un sistema strutturale capace di coprire grandi luci, costituito dalla combinazione di sottili lastre di legno ed elementi polimerici fibrorinforzati.

La ricerca ha toccato alcuni punti considerati primari, quali lo sviluppo dei dettagli costruttivi fondamentali, la logica di costruzione delle parti realizzate in fibra di carbonio (*fibre syntax*), una possibile strategia di prefabbricazione in situ, lo studio dell'integrazione di alcuni elementi architettonici tradizionali e la realizzazione di un prototipo in scala 1:5. Tale processo ha dato risultati incoraggianti, mostrando come il sistema ipotizzato sia effettivamente efficiente e versatile. Alcune linee guida per la prosecuzione della ricerca sono le seguenti: ulteriore sviluppo delle connessioni tra componenti adiacenti, sviluppo di un prototipo in scala 1:1, analisi strutturale dello stesso, analisi del ciclo di vita, analisi della viabilità economica del processo, eventuale sviluppo di una unità di prefabbricazione in-situ.

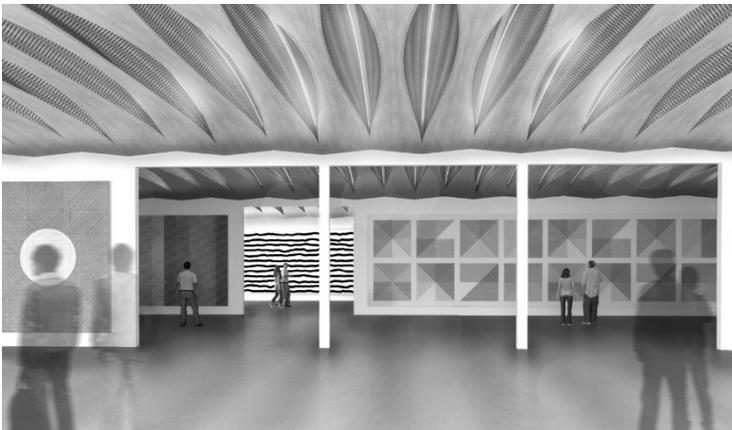


Figure 14: visualizzazione spazio interno, 10m di distanza tra i supporti.



Figure 15: visualizzazione spazio interno, 30m di distanza tra i supporti.

# **Il continuo sviluppo delle costruzioni in legno**



# WTA-Evoluzione delle costruzioni in legno

Raimondo Da Col  
Waugh Thistleton Architects  
London-Madrid





# WTA-Evoluzione delle costruzioni in legno

## 1. Le nostre convinzioni

Waugh Thistleton Architects è uno studio londinese con una solida reputazione nella progettazione ed esecuzione di edifici che utilizzano materiali prefabbricati innovativi; siamo conosciuti a livello internazionale per il nostro lavoro con il legno ingegnerizzato. Negli ultimi 20 anni abbiamo realizzato una vasta gamma di edifici in tutto il mondo ognuno dei quali ha costituito per noi un'opportunità per mitigare l'impatto ambientale dell'architettura, per ricercare ed applicare soluzioni innovative nello sviluppo delle quali abbiamo dato priorità ai principi di sostenibilità, flessibilità ed efficienza utilizzando materiali e maestranze locali, ove possibile.

Siamo profondamente consapevoli del fatto che l'industria delle costruzioni ha una grande responsabilità: le scelte che facciamo quando progettiamo e costruiamo hanno vaste conseguenze in fatto di impatto ambientale, conseguenze che dobbiamo prevedere, controllare e minimizzare. In questo senso decarbonizzazione, conservazione delle risorse e utilizzo di materiali naturali sono diventati requisiti, oseremo dire, indispensabili dell'industria delle costruzioni contemporanea.

Come studio siamo impegnati nello sviluppo di edifici che utilizzano il legno come sostituto al cemento e all'acciaio; questo impegno costituisce una risposta concreta, seppur non esaustiva, alle molteplici crisi ecologiche che stiamo vivendo.

## HOW TIMBER CAN SAVE THE WORLD

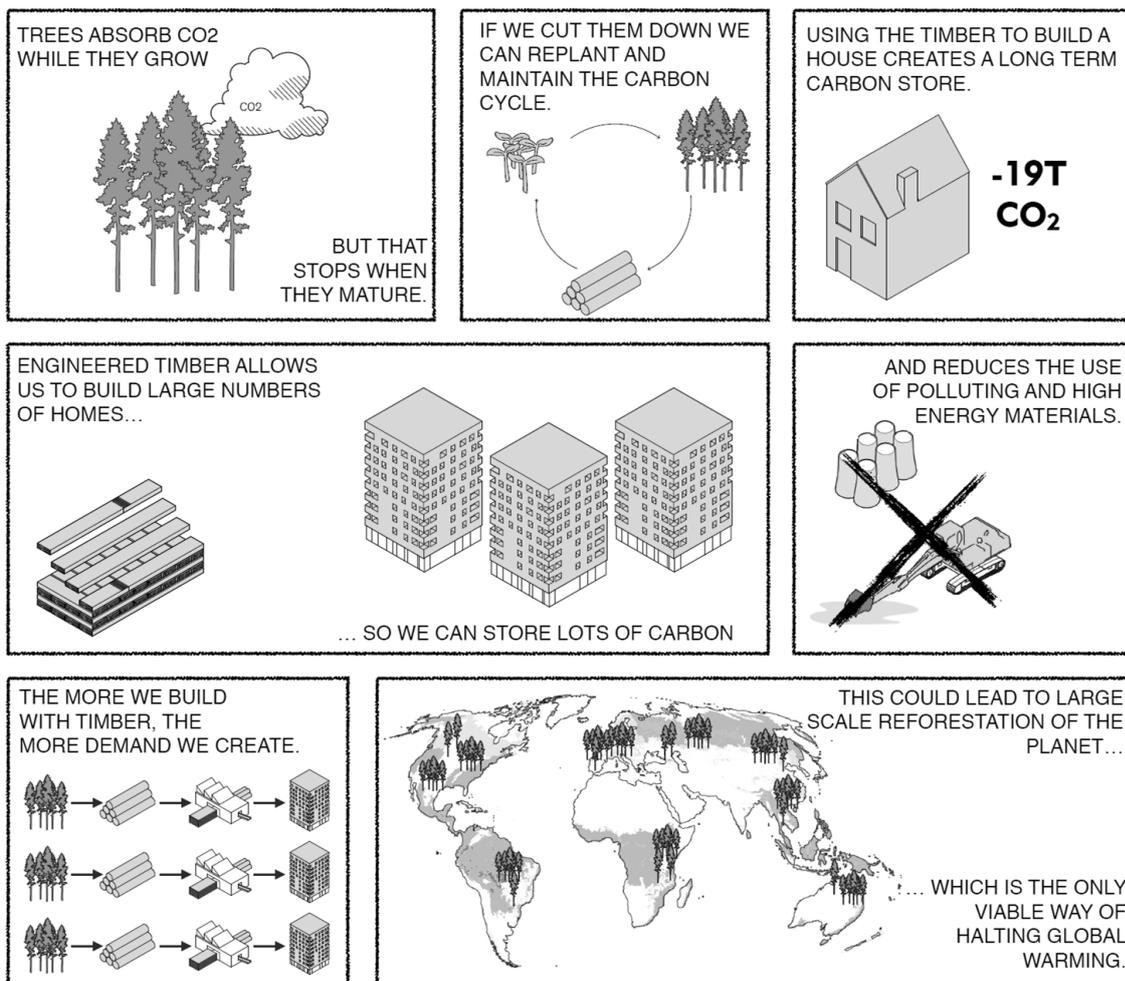


Figura 1: Utilizzo il legno potrebbe salvare il mondo

## 1.1. Uno sguardo al passato

Nel 2003 abbiamo costruito il primo edificio in legno lamellare a Londra: un piccolo progetto che per WTA ha rappresentato l'inizio d'una incessante ricerca focalizzata su come produrre edifici che riducano al minimo l'impatto ambientale. Qui di seguito sono riportate alcune tappe fondamentali di questa ricerca.

## 1.2. Murray Grove

Murray Grove è stato la prima torre residenziale al mondo in Xlam prefabbricato. Con un'altezza di 9 piani, al momento della consegna nel 2009 era l'edificio in legno ingegnerizzato più alto del mondo, realizzato completamente in Xlam al di sopra del primo piano: pareti, solai e nuclei degli ascensori; interessante notare anche come connessioni tra pannelli assicurino che pareti e pavimenti agiscano strutturalmente come un nido d'ape dando forma ad un edificio stabile e strutturalmente efficiente.

L'edificio è stato consegnato al committente in poco più di un anno mentre struttura è stata assemblata in sole nove settimane. La facciata pixellata, composta da 2.500 pannelli di rivestimento in tre tonalità, è disposta in modo da catturare il modo in cui le ombre cadono sull'edificio. I pannelli di rivestimento, leggeri e durevoli, sono realizzati con fibre di legno di scarto.



Figura 3: Murray Grove dettaglio della struttura in Xlam in fase di costruzione (© Will Pryce)

## 1.3. Dalston Works

Dalston Works, con una superficie lorda di circa 12.000 m<sup>2</sup> e l'impiego di 4.600 metri cubi di legno è una delle più grandi strutture in Xlam al mondo. Situato su un'area industriale dismessa della zona semi-centrale di Londra, quest'edificio è suddiviso in diversi volumi ed è orientato in modo da massimizzare il flusso di luce naturale nei cortili e negli spazi abitativi. Anche in questo caso la struttura è stata concepita e costruita interamente in Xlam dal primo piano in su, scelta che rende questo edificio virtualmente carbon negative (tenendo in considerazione anche la componente di carbonio sequestrata dal legno). Con un peso pari a un quinto di quello di un'analogia struttura in cemento, la strutturale in

legno ci ha permesso di risolvere un problema specifico del sito; infatti, la presenza della linea ferroviaria HS2 nel terreno sottostante all'edificio imponeva di utilizzare materiale leggeri ed evitare l'uso di pali di fondazione. Grazie al peso ridotto della struttura lignea è stato possibile realizzare una fondazione a platea relativamente poco profonda e siamo stati in grado di ottenere 25 unità abitative in più rispetto a quelle che sarebbero state realizzate utilizzando metodi di costruzione tradizionali (cemento e acciaio). Per costruire Dalston Works è stato utilizzato una quantità di legno equivalente a 2325 alberi, quantità che ricresce in 3 ore nelle foreste tedesche e austriache da cui l'Xlam proveniva.



Figura 2: Dalston Works vista dall'esterno in fase di costruzione (© Daniel Shearing)

#### 1.4. Il concetto di *Kit of Parts* e un'installazione che lo esemplifica

MultiPly è un'installazione temporanea: un labirinto di spazi interconnessi che si sovrappongono e si intrecciano, progettato allo scopo di incoraggiare i visitatori a ripensare il modo in cui costruiamo le abitazioni e città.

Questo progetto si confronta con alcune grandi sfide dell'epoca attuale: la necessità di costruire un gran numero di alloggi in breve tempo, l'urgenza di «combattere il cambiamento climatico» e la necessità di ripensare la fase di disassemblaggio degli edifici facilitando il riutilizzo di materiali e componenti (urban mining); MultiPly rappresenta un possibile soluzione che consiste integrare sistemi modulari, materiali sostenibili e connessioni facilmente smontabili riutilizzabili.

Questa struttura è stata inizialmente assemblata al Victoria&Albert Museum di Londra utilizzando un sistema flessibile composto da 17 moduli di Xlam di legno di Tulipier americano. Come un i componenti del mobile, MultiPly e' arrivato nel cortile del V&A in forma d'un kit di componenti da assemblare in modo semplice e silenzioso in tempi molto brevi, dimostrando la velocità e l'accuratezza della costruzione modulare in legno.

MultiPly è facilmente smontabile e può essere riconfigurato in molte forme diverse. È stato riassembleto più volte, anche nell'ambito della Settimana del Design di Milano (2019) e del Madrid Design Festival (2020). Progettato in collaborazione con AHEC e ARUP, l'installazione, alta 9 metri, è da considerarsi banco di prova per lo sviluppo di prodotti in Xlam di legno duro modificato termicamente.



Figura 3: Il concetto di «kit of parts» esemplificato in Multiply installato a Milano, estate 2019 (© Petr Krejci)

### 1.5. Six Orsman Road

Six Orsman Road è un edificio commerciale situato sulla sponda meridionale del Regent's Canal a Londra, sorto nello spazio precedentemente occupato da un campanone industriale dismesso. La riqualificazione di questo sito per noi ha rappresentato l'opportunità di creare nuovi spazi per uffici di qualità, sostenibili e flessibili.

In questo progetto abbiamo messo in pratica i principi della circular economy utilizzando materiali a basso contenuto di carbonio per la struttura ibrida di acciaio e Xlam dove componenti di dimensioni standardizzate, connessioni ed interfaccia semplici e accessibili, agevoleranno lo smontaggio e riutilizzo dell'intero edificio in futuro.

La scelta di utilizzare travi alveolari ha permesso un approccio flessibile alla distribuzione dei servizi MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing), mentre un sistema di pareti interne in legno, facilmente smontabili, consente di riconfigurare gli spazi interni ed anche i solai in Xlam possono essere smontati per fare spazio a scale o doppie altezze se necessario. Sia nell'involucro che per le finiture interne è stato fatto un ampio uso di materiali biofilici: intonaco di argilla, fibra di legno e linoleum. L'uso di legno ha contribuito a realizzare un edificio BREEAM «Eccellente» con embodied carbon footprint di 238 KgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> (A1-A5; struttura).



Figura 4: Six Orsman Road (© Ed Reeve)

## 1.6. The Black&White Building

Anche il Black&White Building è un edificio commerciale progettato seguendo un'ambiziosa agenda di sostenibile; una volta completato, alla fine del 2022, sarà il più alto edificio per uffici in legno ingegnerizzato di Londra.

In questo caso la struttura, composta da un telaio in LVL di faggio (Baubuche) e solai e core centrale in Xlam, ed è stata pensata per ottenere ampi spazi di lavoro open plan. L'assenza di pareti divisorie strutturali interne e l'utilizzo d'un sistema MEP accuratamente coordinato per ridurre al minimo l'impatto visiva, permette ai layout d'essere facilmente adattati e riconfigurati per dare risposta ad esigenze e desideri di futuri proprietari o affittuari.

La struttura in legno, incorniciata dalle ampie vetrate, è visibile dall'esterno; la schermatura solare è ottenuta grazie all'utilizzo di lamelle verticali di legno. Un modello parametrico che simula il movimento del sole in relazione alla facciata ha determinato forma e distribuzione delle lamelle a dimostrazione di come l'utilizzo pervasivo del legno, assieme a quello di sofisticati software di analisi e modellazione digitale delle prestazioni ambientali, possano dare forma a un edificio sostenibile ed efficiente pensato per il XXI secolo.



Figura 5: The Black & White Building

## 1.7. MIND Milano

Nei prossimi 15 anni il sito dell'Expo 2015 di Milano sarà sviluppato come un nuovo distretto per la scienza e l'innovazione che comprenderà edifici per ufficio, commerciali, residenziali e ampi spazi pubblici. La prima fase del progetto prevede la realizzazione di 40.000 m<sup>2</sup> di spazi commerciali attigui all'ingresso principale al sito da ovest (MIND Westgate).

WTA ha ricevuto l'incarico di progettare uno dei due edifici commerciali che verranno costruiti nella prima fase di sviluppo del sito. Stiamo inoltre collaborando con Mario Cucinella, incaricato del masterplan dell'intero distretto, e con Piuarch, un rinomato studio d'architettura milanese, per sviluppare un sistema strutturale DfMA (kit di parti) che possa essere utilizzato per il design di edifici sia residenziali che commerciali in tutto il sito con un occhio di riguardo ai principi di efficienza energetica, strutturale e economia di progetto. Il sistema sviluppato farà uso di travi e colonne in legno lamellare nonché di solai in Xlam nervato ottimizzando le quantità di materiali utilizzata e fornendo spazi adattabili alle più diverse esigenze dimensionali e funzionali.

L'impiego di questo sistema nel quale, ove possibile, il legno verrà lasciato a vista, migliorerà il benessere abitativo e ridurrà le emissioni di carbonio sia nella fase di costruzione che in fase operativa, consentendo ai nostri clienti di raggiungere il target di zero emissioni entro il 2040. MIND ci ha presentato una opportunità di realizzare un concreto esempio di DfMAD (Design for Manufacture, Assembly and Disassembly) e MMC (*Modern Methods of Construction*) date le ampie economie di scala possibili, la varietà di tipologie edilizie, e gli obiettivi di sostenibilità che i nostri clienti si sono prefissati.



Figura 6: MIND - visualizzazione dell'atrio d'ingresso

# Soluzioni strutturali in legno per sopraelevazioni ed edifici multipiano

Thomas Schrentewein  
Lignaconsult Timber Engineers  
Bolzano, Italia





# Soluzioni strutturali in legno per sopraelevazioni ed edifici multipiano

## 1. Introduzione

Al giorno d'oggi c'è la possibilità di applicare molteplici tipologie di costruzione in legno nell'edilizia. Prima della fine del millennio non era così: allora dominavano ancora la struttura a telaio di legno e quella a scheletro di legno. Oggi costruiamo gli edifici in legno principalmente ancora con due metodi: con la tipologia a telaio, che ha saputo affermarsi nel corso degli anni, e con la tipologia X-LAM, che sta guadagnando costantemente quote di mercato.

In termini di quantità, sono ancora le case unifamiliari che generano il maggior volume di costruzione dell'edilizia in legno. Inoltre, sempre più condomini vengono ora costruiti con il legno; di solito sono edifici tra i tre e i nove piani, sempre più frequentemente realizzati anche con metodi di costruzione ibridi, cioè con le combinazioni legno-cemento oppure legno-acciaio.

Attualmente, sotto i riflettori, sono gli edifici alti, con oltre dieci piani, i quali sono esclusivamente edifici ibridi. A mio parere, ingiustamente sotto i riflettori, perché gli elementi principali portanti sono costituiti essenzialmente da acciaio o si utilizzano nuclei rigidi in cemento armato, che di fatto assumono l'irrigidimento dell'edificio. La significatività dei grattacieli nella costruzione in legno lascia quindi un certo bisogno di discussione.

Le particolarità che caratterizzano i metodi di costruzione in legno per le costruzioni multipiano e le sopraelevazioni sono molto diverse. Nell'ultimo caso, il legno come materiale da costruzione è quasi senza rivali, accanto all'acciaio, che però è soggetto a forti fluttuazioni dei prezzi. Questo potenziale è raramente riconosciuto e non è pienamente sfruttato. Sono innumerevoli gli edifici urbani a più piani, realizzati in muratura o cemento armato, che possono essere sopraelevati con uno o più piani. Ciò consentirebbe di risparmiare terreno edificabile e crea spazio abitativo aggiuntivo a bassi costi di costruzione.

## 2. Edifici multipiano con strutture in legno

Nel contesto urbano, sono presenti nuovi edifici residenziali in legno principalmente dai tre ai sei piani. Il legno, in questo caso, è il materiale da costruzione esclusivo. I requisiti inerenti alle proprietà del materiale legno sono soddisfatti da soluzioni strutturali comprovate. Anche la protezione antincendio non è più un ostacolo troppo grande. Questi edifici sono ora costruiti quasi esclusivamente con X-LAM, che si traduce nella prassi di costruire in legno nel nostro territorio; in alcuni casi, può esservi anche una costruzione mista, ovvero combinando il telaio in legno all'X-LAM. I limiti sono determinati esclusivamente dalle proprietà del materiale, dalla resistenza e dalla rigidità. Oltre alla protezione antincendio, l'isolamento acustico è un requisito speciale per gli edifici a più piani, che è ancora associato a un grande sforzo.

La costruzione in legno pluripiano deve altresì risultare idonea sotto molteplici aspetti, quali:

- Attacco a terra
- Ancoraggi e fissaggi
- Carichi concentrati e compressione perpendicolare
- Sovrapposizione delle pareti di piano
- Rigidezza locale (solai) e globale (edificio)
- Requisiti della vibrazione dei solai (cfr. rumore da calpestio)

Sulla base di un esempio pratico di un edificio residenziale a sei piani, vengono mostrate le soluzioni per queste problematiche. Si tratta di un edificio alla periferia sud-ovest di Parma, in cui ci sono 30 miniappartamenti. La casa è composta principalmente da X-LAM dal piano terra in su. Per le ben note ragioni architettoniche della distribuzione interna, ci sono singole travi in acciaio. L'edificio è stato completato l'anno scorso.



Figura 1: Edificio residenziale a sei piani in via Jenner a Parma (Fonte: Boraschi)

SEZIONE A-A 1:50

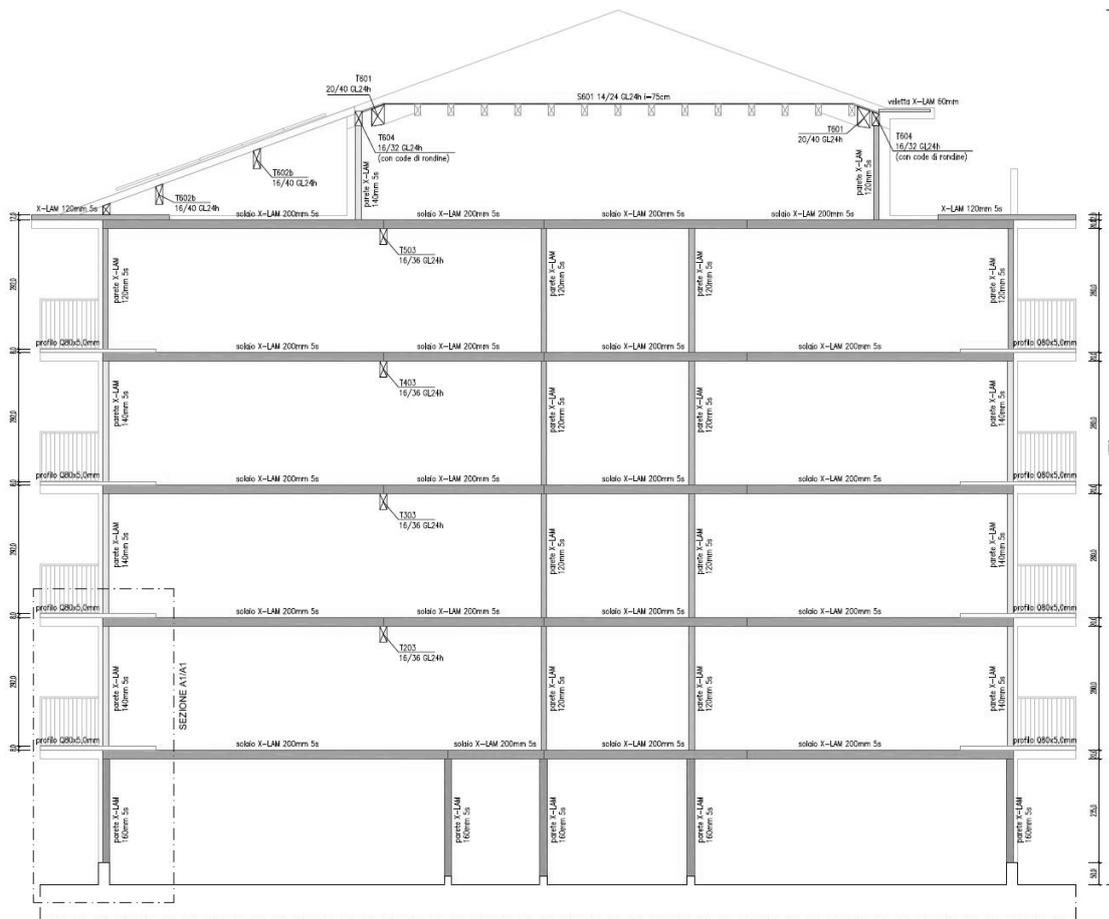


Figura 2: Sezione del progetto strutturale

## PARETI ESTERNE: PIASTRE TIPO A1+A2

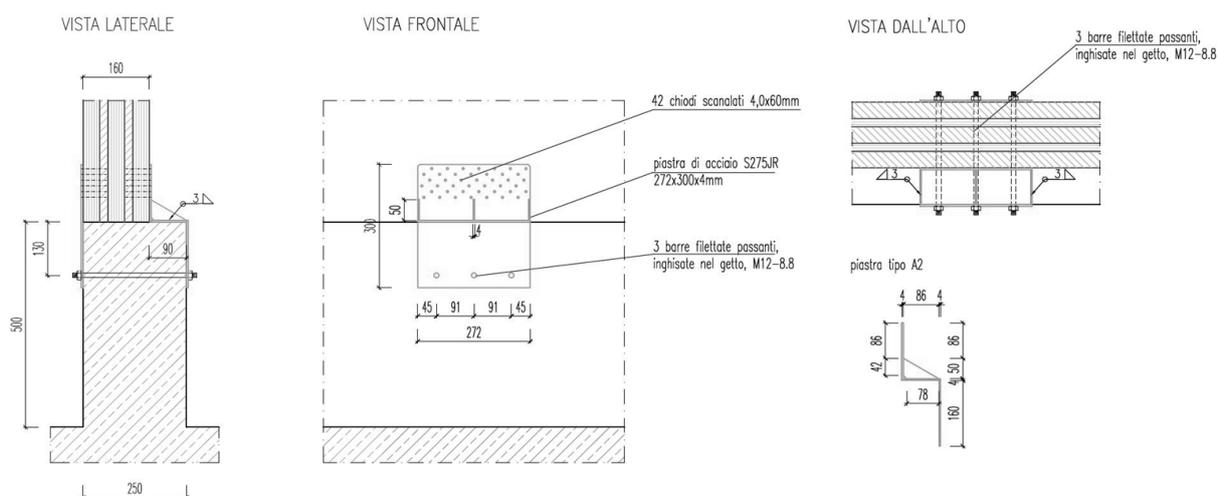


Figura 3: Ancoraggio pareti esterne

### 3. Sopraelevazioni di edifici con strutture in legno

Molti edifici esistenti hanno sottotetti non praticabili. In alcuni casi, possono essere adattati, ma di solito questa parte dell'edificio viene demolita e sopraelevata per renderla abitabile. Le norme edificatorie favoriscono questo approccio, a volte con l'obbligo di ristrutturare energeticamente l'edificio esistente allo stesso tempo.

Nella maggior parte dei casi, vi è la fattibilità di una sopraelevazione; ci sono tuttavia ancora situazioni rare in cui ciò non è possibile. Questo può accadere, ad esempio, quando la sottostruttura, cioè l'esistente, non è in grado di assorbire il carico aggiuntivo o le fondazioni non sono più sufficientemente resilienti.

Un altro aspetto consiste nel fatto che l'edificio esistente risulta progettato e costruito sulla base di altra normativa. Le verifiche secondo lo stato al tempo dell'arte non possono essere facilmente applicate allo stato attuale. Esistono solo rari casi in cui non si pone tale problema, ovvero quando la possibilità di una futura sopraelevazione fosse già stata presa in considerazione al momento iniziale.

In generale, la maggior parte degli edifici può essere sopraelevata almeno con un piano. È sempre importante assicurarsi che il peso aggiuntivo sia mantenuto il più limitato possibile. Idealmente, la parte demolita di un sottotetto esistente corrisponde al peso del nuovo piano. Per i motivi menzionati, la selezione di possibili materiali strutturali si riduce a legno e acciaio.

I requisiti tecnici per una sopraelevazione sono più numerosi che per un nuovo edificio, per citarne solo alcuni:

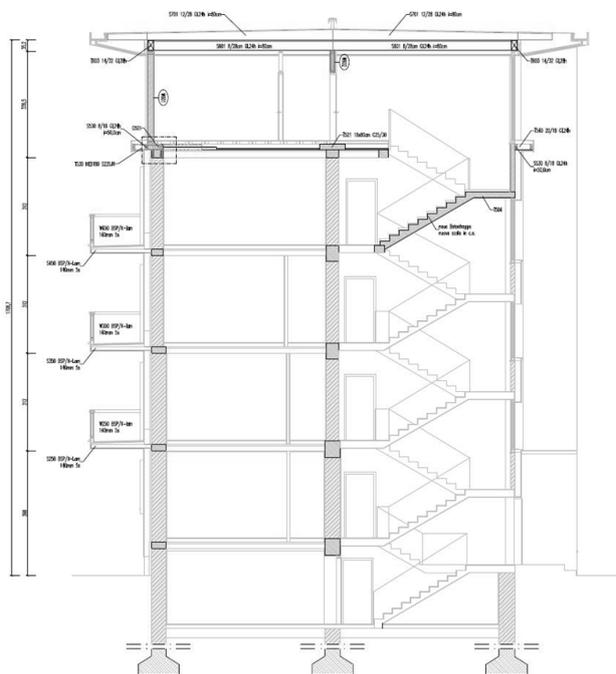
- Condizioni delle sottostrutture e delle fondazioni
- Conoscenza e valutazione delle strutture esistenti
- Verifiche sismiche impegnative
- Accessibilità con scale e ascensori
- Ancoraggi e fissaggi
- Costruzione mentre l'edificio è abitato (disturbo e sicurezza)

Una sopraelevazione di modesta importanza è attualmente in corso a Bolzano. Quattro edifici con alloggi sociali della città di Bolzano saranno energeticamente ristrutturati e sopraelevati con un piano intero. Sono in costruzione 16 nuovi appartamenti. I lavori di costruzione sono ancora in corso e saranno completati nella primavera del 2023.



Figura 4: Sopraelevazione edifici residenziali in via Parma a Bolzano

Sezione B/B - Blocco B - 1:50



Sezione C/C - Blocco C e D - 1:50

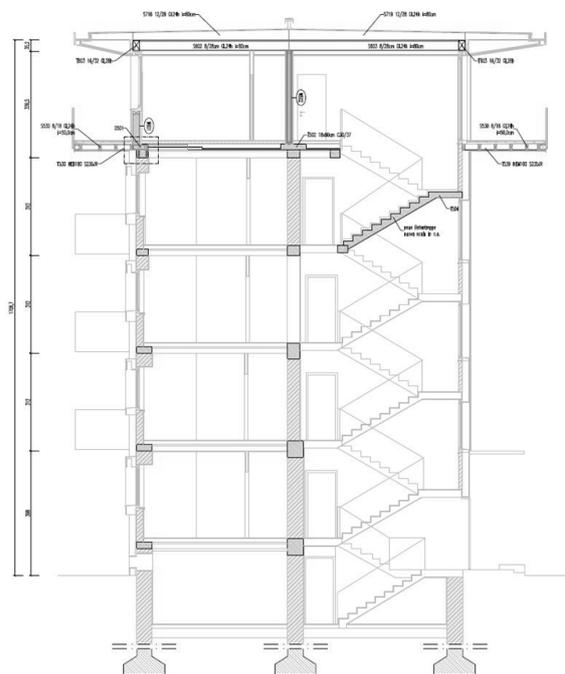


Figura 5: Sezione blocco B e C-D

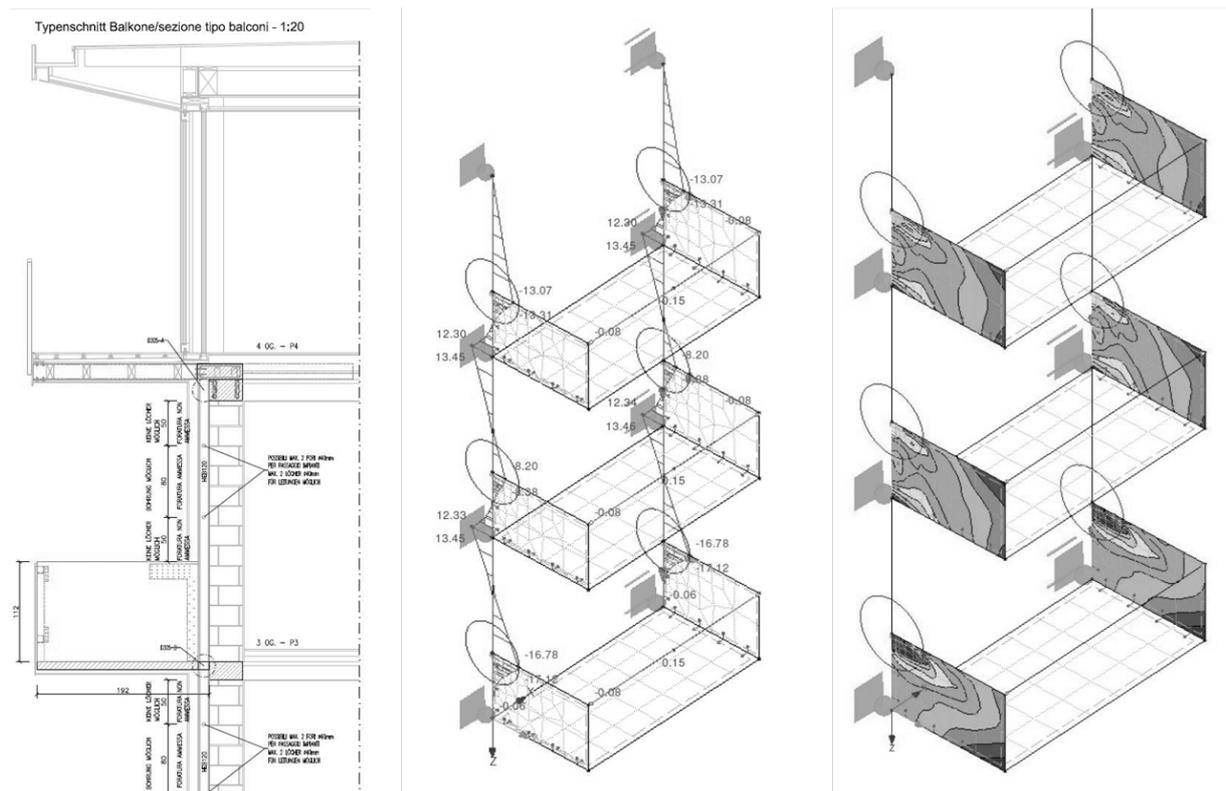


Figura 6: Balconi – schemi strutturali

## 4. Conclusione

Il nuovo edificio multipiano e le sopraelevazioni di edifici esistenti hanno esigenze molto diverse. Mentre per le nuove costruzioni possiamo concentrarci completamente sul legno e sulla sua tecnologia di connessione, quando si tratta di una sopraelevazione dobbiamo occuparci, più o meno, di tutti i materiali. L'aspetto comune è l'uso di un materiale unico, sostenibile ed ecologico che porta anche benefici economici a lungo termine.



# Philip Morris Institute for Manufacturing Competences (IMC)

Valerio Cruciani  
Urban-gap  
Roma, Italia





# Philip Morris Institute for Manufacturing Competences (IMC)

## Nuovo centro per l'alta formazione e lo sviluppo delle competenze legate all'industria 4.0

Philip Morris Institute for Manufacturing Competences (IMC). È il nuovo centro per l'alta formazione e lo sviluppo delle competenze legate all'industria 4.0 inaugurato nel giugno 2022 nel polo produttivo di Crespellano (Bologna). È un edificio ecosostenibile, autosufficiente e intelligente, sensibile alle tematiche ambientali emergenti ed è stato concepito per contenere aule e laboratori per la formazione professionale del mondo manifatturiero. Per la realizzazione dell'edificio si è scelta una tecnologia innovativa proponendo una struttura portante in legno lamellare dalle ottime prestazioni. Una soluzione sostenibile da un punto di vista ambientale che rappresenta una valida alternativa alle consuete tecnologie di costruzione. L'edificio, presenta una particolare soluzione architettonica che permette al corpo di fabbrica, completamente vetrato, di essere protetto dall'irraggiamento solare diretto. Una pergola continua realizza una schermatura permeabile che offre l'occasione per una pelle verde avvolgente e un sistema di pannelli fotovoltaici integrati. Il tetto giardino completa l'edificio a «restituzione del maltolto» regalando una opportunità unica nel recupero di un'area importante definita dal *print* stesso dell'edificio e ridisegna uno spazio *outdoor* prezioso restituendo un'area di giardino altrimenti persa per sempre. Le strategie di eco-sostenibilità a salvaguardia dell'ambiente sono diverse e complesse prima tra tutte l'esposizione dell'edificio che permette nei mesi invernali di godere del massimo apporto solare, con ampie vetrate perimetrali, contribuendo a migliorare la *performance* di risparmio energetico, mentre in estate le pergole e il tetto giardino offrono un ottimo isolamento termico riducendo sensibilmente, le entrate di calore dalla copertura. Gli impianti seguono la stessa filosofia, l'impianto fotovoltaico inserito nelle pergole verdi assicura il fabbisogno energetico, garantendo il ricambio dell'aria richiesta, il riscaldamento e il raffrescamento attraverso il pavimento radiante, a sostituzione del consueto condizionamento dell'aria. Il tetto giardino è composto da arbusti, alberi e diverse essenze selezionate per una bassa manutenzione. Il sistema di raccolta delle acque meteoriche del tetto giardino viene immagazzinata in una cisterna e riutilizzata per uso irriguo. Il progetto segue lo standard di certificazione LEED del Green Building Council Italia e la certificazione WELL livello Gold, appositamente studiata per verificare e certificare il livello di salubrità e di benessere di chi vive negli ambienti costruiti.

*Progettazione definitiva, esecutiva e assistenza direzione lavori Urban-Gap, progettazione impianti, direzione lavori Progreen, realizzazione dell'opera Wolf Haus. Landscape design realizzazione spazi verdi: Latifolia group*

<http://www.urban-gap.it/academy/>



Philip Morris Institute for Manufacturing Competences (IMC) prospetto sud ovest



Philip Morris Institute for Manufacturing Competences (IMC) prospetto nord est



Philip Morris Institute for Manufacturing Competences (IMC) vista notturna prospetto sud est



Philip Morris Institute for Manufacturing Competences (IMC) tetto giardino

# **Master Colloquium**



# **Approccio parametrico-generativo alla progettazione di strutture lignee. Caso studio di un Workshop Center a Gamla Stan, Stoccolma.**

Mykhaylo Kazmiruk  
Università degli Studi di Trento  
Trento, Italia





# Approccio parametrico-generativo alla progettazione di strutture lignee. Caso studio di un Workshop Center a Gamla Stan, Stoccolma.

## 1. Abstract

La tesi vuole indagare i nuovi modi di progettare attraverso strumenti che possano permettere una migliore gestione del processo architettonico e di quello ingegneristico uniti dal ricorso a procedure di modellazione di tipo generativo. Il Workshop Center a Gamla Stan, Stoccolma, è il pretesto per mettere in atto questo particolare approccio al processo di progettazione e al contempo è un luogo emblematico che rappresenta una sfida dal punto di vista dell'integrazione di un linguaggio architettonico contemporaneo con il tessuto storico della città di Stoccolma.

Il grande vantaggio della progettazione parametrica è la possibilità di creare degli algoritmi generativi che permettono la creazione di geometrie attraverso un processo di selezione automatizzato in base a dei parametri. Quindi ho studiato le varie tecniche di form-finding strutturale al fine di ottimizzare la geometria finale in funzione dei carichi.

Successivamente ho individuato nelle gridshell la tipologia costruttiva ideale per grandi strutture lignee che resistono per forma e ho definito le caratteristiche in funzione del progetto architettonico. Prima di procedere con lo sviluppo del processo ho fatto un approfondimento sul materiale definendo un modulo esagonale con travi in glulam e pannelli di stabilizzazione in x-lam.

A questo punto ho fatto uno studio sulla città di Stoccolma andando ad individuare le peculiarità e caratteristiche della zona dell'intervento. Lo studio dei riferimenti architettonici uniti alle caratteristiche della città è stato sintetizzato per la definizione del concept di progetto. La disposizione degli ambienti interni è stata sviluppata a partire dalle indicazioni del bando progettuale e in base ai percorsi degli utenti finali al fine di creare degli spazi organici e fluidi che accompagnassero i visitatori nel loro tragitto.

Quindi ho sviluppato l'algoritmo che, mediante numerose simulazioni fisiche, mi ha permesso di generare la forma ideale delle cupole in funzione degli ambienti interni al Workshop.

Infine, ho effettuato un'analisi strutturale del guscio andando a creare un algoritmo strutturale attraverso le geometrie del processo generativo. L'analisi della gridshell è stata divisa in due blocchi. Nel primo ho studiato il comportamento dei soli pannelli x-lam attraverso il quale ho definito lo spessore degli elementi di stabilizzazione. Nel secondo ho creato un modello che comprendesse tutti gli elementi e l'ho usato per estrapolare lo stato tensionale delle travi in glulam. Quindi ho progettato la connessione di base in acciaio.

## 2. Introduzione al Form-Finding

### 2.1. Form-Finding

La ricerca della forma, intesa nel senso più generico del termine, è una prerogativa del processo di progettazione di qualunque epoca e movimento architettonico. La forma, di solito, segue la visione dell'architetto e la sensibilità di attenersi a determinate funzioni e requisiti. In questo flusso, l'integrazione strutturale avviene come l'operazione finale del processo che quindi subisce i carichi derivati da un'analisi ingegneristica sviluppata come ultimo tassello e atta a verificare se uno spessore di un elemento strutturale abbia le caratteristiche adatte a sopportare un carico piuttosto che un altro.

Mediante l'utilizzo delle tecniche di form-finding si aggiunge un altro elemento fondamentale nella fase di definizione della forma, oltre a espressione artistica e necessità funzionale, che è la ricerca e la definizione di una geometria ideale degli elementi portanti. I metodi di form-finding aggiungono notevole complessità alla progettazione in quanto le architetture vanno pensate nella loro interezza e collocate in un mondo fisico, governato

da leggi della natura che ne plasmano la forma in funzione della risposta statica e dei carichi gravitazionali. La struttura non è più pensata per resistere ai carichi, bensì è progettata per accompagnare essi in modo più efficiente possibile.

L'ottimizzazione geometrica, che si pone come obiettivo, può essere raggiunta mediante complesse formulazioni matematiche ma l'approccio iniziale al problema consiste nello studio dei fenomeni naturali che governano il processo. In quest'ottica, ho suddiviso gli approcci al form-finding in tre categorie.

## 2.2. Il Modello Fisico

Il modello fisico è il modo più tradizionale e forse il più pratico di interfacciarsi con il form-finding. Oggi questo procedimento può essere eseguito totalmente al computer, permettendo così una flessibilità impossibile da raggiungere per un modellino di studio reale.

L'esempio riportato è stato realizzato con l'utilizzo di Rhinoceros 3D e Grasshopper. Ho creato una geometria iniziale, precisamente una superficie NURBS in quanto essa permette di avere una superficie matematicamente definita, contenente il proprio dominio al suo interno. Le superfici di questo tipo sono chiamate «Untrimmed Surface» mentre le superfici che non contengono interamente il proprio dominio sono dette «Trimmed Surface». Quindi è stato possibile convertire la superficie in una mesh al fine di poter avere più controllo sugli elementi che concorrono a formare la mesh in funzione delle esigenze del simulatore che ho utilizzato. Si è scelto di utilizzare il plug-in «Kangaroo» e quindi sono state definite le condizioni al contorno per far girare la simulazione. La mesh è stata suddivisa in un numero equo di quadrilateri dai quali ho ricavato i lati e le diagonali di ciascuno di essi. Per poter accorciare o allungare le membrature è stato necessario assegnare alle linee le proprietà di una molla. Aggiungere le diagonali ha permesso di avere più controllo sulla deformabilità della maglia in quanto possono prevenire eccessive deformazioni. Quindi sono stati estrapolati i punti della mesh a cui è stato applicato un carico in direzione Z, mentre a quelli giacenti agli angoli della geometria sono state assegnate le caratteristiche del vincolo. Definiti tutti i parametri, è possibile scegliere la forma geometrica ideale tra un numero elevatissimo di soluzioni. È possibile verificare numerose alternative variando i parametri oppure la geometria iniziale, il tutto in un tempo molto breve avendo a disposizione l'algoritmo. Chiaramente questo metodo presenta delle insidie: esso simula la risposta fisica che si avrebbe nel mondo reale ma è solo un ambiente simulativo virtuale che fornisce un output geometrico basato su una simulazione che sfrutta le leggi che noi abbiamo imposto, quindi è necessaria molta attenzione specialmente per ciò che riguarda la caratterizzazione dei carichi e del materiale e all'esito finale che deve essere concorde con ciò che si otterrebbe nel mondo reale.

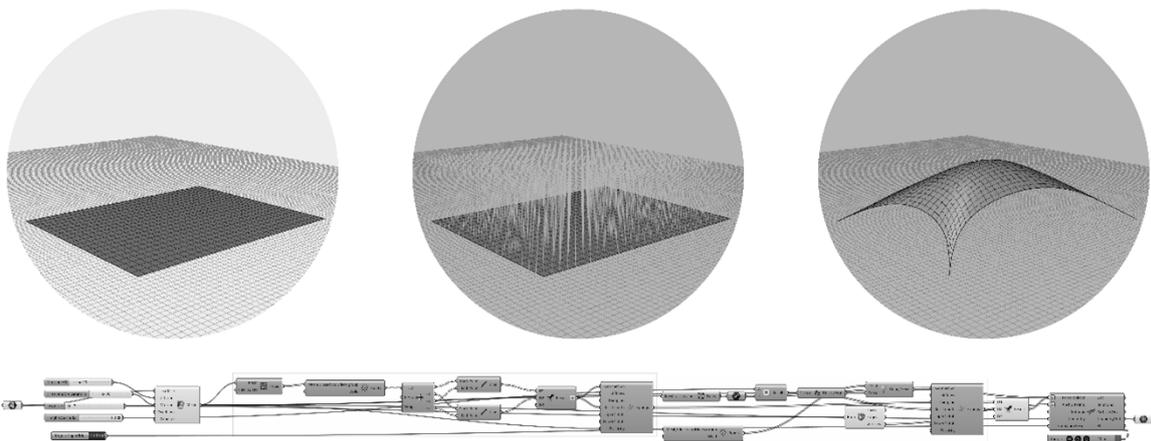


Figura 1: Algoritmo per la simulazione del Modello Fisico realizzato in Grasshopper

## 2.3. Minimal Surface

Le minimal surface non sono altro che il risultato del connubio tra la matematica e la risposta fisica ai fini della realizzazione di elementi leggeri. Possiamo vedere le minimal surface come funzioni matematiche che premettono la definizione della minima superficie richiesta ad occupare un determinato spazio in funzione dei vincoli imposti. Queste formule

matematiche si possono approssimare e gestire con relativa facilità mediante l'utilizzo di una pellicola di liquido avente un'elevata tensione superficiale come, per esempio, il film di sapone. La pellicola liquida di sapone ha una resistenza nulla a momento, quindi il liquido è in grado di creare una forma perfetta, una superficie minimale tra i vincoli e le aperture soggetta ad un'azione membranale omogenea. Il film di sapone però non è un materiale costruttivo e quindi sorge il problema su come replicare il comportamento teorico della membrana con i materiali reali.

Tramite l'ausilio del computer è possibile sperimentare, in modo veloce, le diverse formulazioni matematiche relative alle minimal surface, di cui ho riportato gli esempi più interessanti dal mio punto di vista.

I risultati delle mie prove non sono stati utili allo sviluppo del progetto in sé ma ho potuto sperimentare e vedere i diversi modi per realizzare le minimal surface in funzione dei vincoli imposti. Un modo più pratico di realizzare le minimal surface consiste nello sfruttare il plug in di Grasshopper chiamato «Kangaroo», lo stesso che abbiamo visto nell'esempio del modello fisico. Una volta definite le condizioni al contorno è sufficiente assegnare correttamente le caratteristiche elastiche alla mesh e il risultato della simulazione sarà una minimal surface.

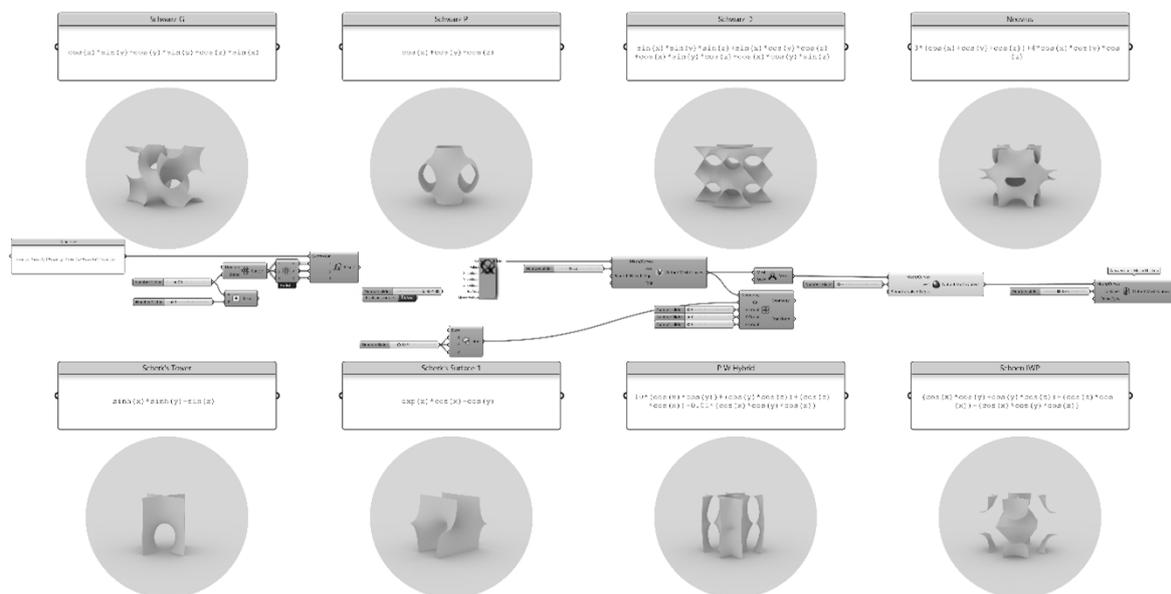


Figura 2: Algoritmo per la simulazione di Minimal Surface realizzato in Grasshopper

## 2.4. Biomimicry

L'ultimo modo di approcciare il form-finding tra quelli da me individuati è attraverso la biomimicry. A differenza degli altri due approcci appena visti, questo non è focalizzato sull'ottimizzazione strutturale ma consiste nello studio e imitazione della natura. Infatti, possiamo osservare molti esempi di architetture che si confrontano con questo tema tramite una imitazione formale dell'elemento naturale.

La natura utilizza la materia in modo sapiente e la posiziona dove vi è bisogno poiché essa è un bene prezioso, ottimizzandosi secondo una specie di gerarchia in cui la forma è preferita alla quantità di materia.

Il mio studio e l'applicazione dei principi della biomimicry è assai limitato ed è volto a generare uno script che permettesse una simulazione interattiva di celle spaziali distribuite su di una determinata superficie al fine di approssimarne la forma mediante un'operazione dinamica tale che le cellule digitali si assestassero in configurazioni stabili ad ogni sollecitazione esterna. Anche questo script è stato realizzato mediante il plug-in Kangaroo, che ha permesso di simulare un'occupazione spaziale dinamica di ciascuna cellula in funzione di quella adiacente, e del componente Delunay Mesh, tramite il quale è stata definita la forma delle celle.

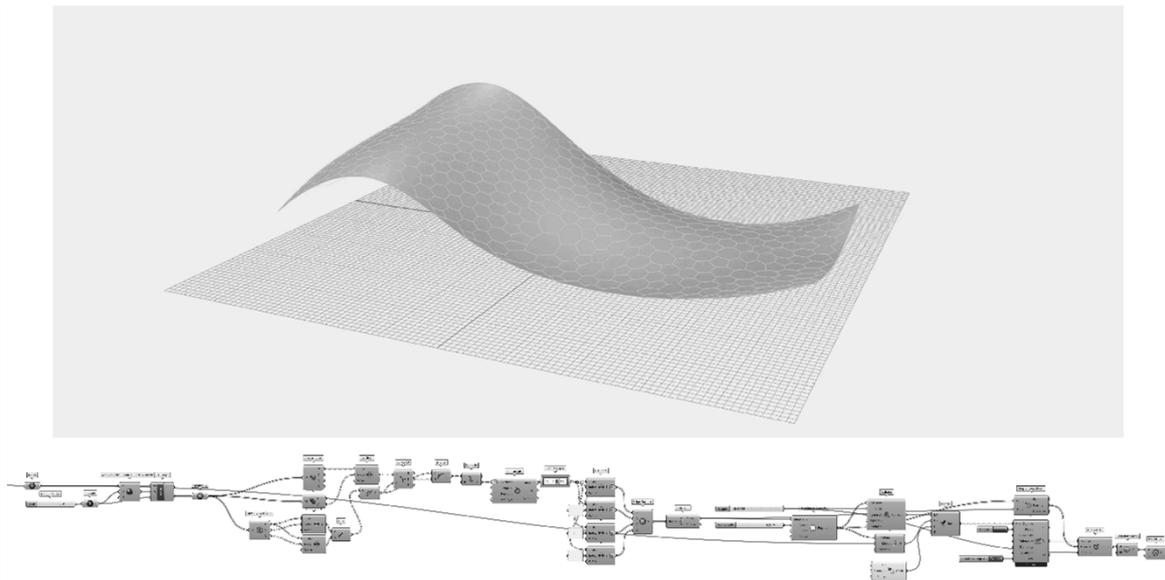


Figura 3: Algoritmo per la simulazione della Biomimicry realizzato in Grasshopper

### 3. Modulo costruttivo

#### 3.1. Gridshell

Leggerezza, è la parola chiave quando si parla di strutture che resistono per forma. È stato quindi scelto il legno come materiale costruttivo da utilizzare per la realizzazione di questo progetto per le sue eccezionali caratteristiche. È un materiale molto resistente, specialmente se relazionato al peso, che le nuove tecnologie hanno reso versatile, quindi è perfetto per grandi strutture che resistono per forma.

La tipologia costruttiva che permette di sfruttare al meglio le caratteristiche del legno, secondo il mio parere, è la gridshell.

La gridshell non è altro che un'approssimazione di una volta a curvatura variabile mediante aste e nodi.

In questo modo si sfrutta la caratteristica della direzione principale dei segati lignei, discretizzando un continuum spaziale mediante una serie di elementi rettilinei interconnessi da dei giunti.

Il termine fa riferimento al tipo di comportamento che si ha dalla struttura: ovvero è in parte una «grid» e in parte una «shell». Il risultato reale è un comportamento intermedio dei due, chiaramente, con il comportamento statico a guscio che precede quello a reticolo. Ciò significa che i carichi agenti vengono trasferiti alla struttura mediante un comportamento a membrana indotto dalla doppia curvatura, tipico dei gusci continui, mentre la rigidità è generata dalla disposizione reticolare delle aste. In questo modo è possibile togliere il materiale dove questo non è in uso, il che garantisce una straordinaria leggerezza delle gridshell oltre a permettere di avere i locali interni perfettamente illuminati grazie al passaggio della luce attraverso gli spazi vuoti.

#### 3.2. Classificazione delle Gridshell

Le gridshell si possono suddividere in due macro gruppi: le post-formate e le pre-formate. La caratteristica principale è indicata direttamente nel nome. L'involucro viene formato, ovvero forzato ad assumere una determinata forma, dopo l'assemblaggio della maglia. La gridshell post-formatata è inizialmente planare ed è, generalmente, composta da una maglia rettangolare con aste di dimensioni minime, tali per cui questo reticolo possa essere deformato secondo le necessità.

Il secondo punto è il nodo. Questo deve essere realizzato in modo tale da permettere le deformazioni previste dal progetto. La griglia che, inizialmente è planare e ha una maglia rettangolare, verrà forzata ad assumere la forma finale che porterà ad una disposizione tridimensionale del reticolo e alla conseguente deformazione della maglia da rettangolare a romboidale. Solo a deformazione avvenuta la gridshell verrà stabilizzata con dei diagonali

al fine di bloccare le deformazioni rendendo l'involucro rigido. Se il nodo non assecondasse tali movimenti la griglia risulterebbe già rigida in partenza, il che comprometterebbe la fase di formatura facendo insorgere tensioni anomale in corrispondenza dei giunti.

L'ultimo elemento di cui voglio parlare è la pelle. Si evince già dal fatto che l'operazione di formatura avvenga in cantiere che il rivestimento deve essere flessibile e adattabile alla forma della gridshell.

La fase di cantiere per questa tipologia di gridshell risulta molto complessa, specialmente quella relativa alla formatura, e la precisione di questo metodo non può essere paragonata a quella ottenibile con la produzione negli stabilimenti che possono raggiungere tolleranze millimetriche. A cascata, anche il rivestimento è in genere molto semplice e flessibile, tale da permettere di assecondare i movimenti e le imperfezioni della struttura.

D'altro canto, la fase di progettazione è più semplice rispetto all'altro tipo di gridshell e, soprattutto, con questo metodo è possibile sfruttare al 100% le proprietà del legno e realizzare strutture di una leggerezza inaudita.

Nonostante ciò, reputo questo approccio molto più indicato per architetture temporanee per le quali le normative tecniche pongono vincoli minori.

L'altro grande gruppo di gridshell è quello delle pre-formate.

A differenza delle gridshell post-formate, gli elementi che andranno a comporre le gridshell pre-formate sono posati con la forma definitiva. Nessun lavoro di formatura avviene in cantiere in quanto questo viene eseguito in officina, dove è possibile avere un controllo superiore sugli esiti di una procedura così delicata. La separazione della fase di formatura dalla fase di cantiere agevola e velocizza notevolmente quest'ultima. Normalmente, la fase di cantiere per una gridshell pre-formata consiste in un semplice assemblaggio di elementi. Un altro elemento che differenzia i due metodi sono i nodi. Essendo che, gli elementi messi in opera hanno la forma definitiva, non vi è più bisogno di lasciare le aste libere di muoversi e quindi i nodi, in genere, sono rigidi. Queste due caratteristiche evidenziano una complessità maggiore per ciò che riguarda la fase di progetto e quella di produzione, ma va tutto a guadagno della fase di cantiere.

L'ultimo confronto può essere fatto sul rivestimento. Tutti gli elementi di una gridshell pre-formata sono definiti con precisione prima dell'ultimazione della costruzione e quindi è possibile studiare un rivestimento ad hoc che renda l'ambiente interno confortevole, oltre al semplice ruolo di separare lo spazio interno da quello esterno.

Per le caratteristiche citate ritengo che la tipologia della gridshell pre-formata sia più adatta per strutture a carattere permanente, perciò la ritengo più valida ai fini di questa tesi, specialmente in ottica di limitare la complessità in fase di cantiere.

Bisogna fare attenzione anche con questo metodo in quanto è possibile generare architetture molto complesse, per esempio, aste a doppia curvatura che portano molta complessità nella fase di produzione, e articolazioni spaziali intricate che rendono difficile il montaggio degli elementi.

### **3.3. Studio del Modulo**

Un primo ragionamento è stato fatto prettamente sulle caratteristiche intrinseche delle forme geometriche. Ho scartato immediatamente le forme circolari: anche se hanno un ottimo comportamento statico, queste sono complesse da produrre e, ancora di più, da accostare per creare una forma organica.

Una forma rettangolare invece, presenta caratteristiche interessanti. Il modulo si presta bene sia all'assemblaggio in cantiere sia ad essere prefabbricato in officina. Il nodo strutturale derivato dalla maglia rettangolare risulta a quattro vie, quindi relativamente facile da realizzare e può essere realizzato mediante un semplice incrocio di elementi lignei, senza la necessità di una connessione in acciaio.

Tra gli aspetti negativi di un modulo rettangolare si ha la labilità nel piano. Questa soluzione necessita dei pannelli stabilizzanti, controventi oppure avere gli incastri in corrispondenza dei vertici. Inoltre, approssimare una forma spaziale mediante un modulo rettangolare genera elementi che non sono planari, quindi di difficile fabbricazione.

Il triangolo sembrerebbe una forma ideale da cui partire. La forma triangolare è staticamente stabile, quindi non avrebbe bisogno di accorgimenti necessari per il modulo rettangolare; inoltre, il triangolo è planare per definizione.

Esso sembra il più adatto tra quelli analizzati, però ha dei problemi relativi al nodo. Una composizione spaziale di elementi triangolari porta ad un nodo a sei vie, che è il più complesso che si possa avere. Considerando che il nodo dovrà essere sicuramente un raccordo metallico e, per approssimare grandi curvature vi è bisogno di un alto numero di nodi, è chiaro che non solo questa soluzione aumenterebbe il costo dell'edificio ma anche la complessità costruttiva, se non si opta per la semplificazione del progetto architettonico riducendo le curvature delle volte.

Ho deciso di usare il modulo triangolare come punto di partenza dei ragionamenti sul modulo finale, tenendo i pregi e studiando i difetti. Il problema e la soluzione del triangolo sta nel nodo che, risultava inadatto per la forma che ambivo a realizzare. Ragionando in ottica di ridurre la complessità sono giunto ad un nodo a tre vie, il più semplice possibile per strutture spaziali. Chiaramente questa operazione stravolge il modulo perché i nodi a tre vie portano alla composizione di elementi esagonali, privilegiando quindi la semplicità del nodo alla stabilità del modulo. Questa verrà ristabilita mediante elementi stabilizzanti in x-lam, mentre le celle esagonali sono pensate per essere realizzate con travature in legno lamellare. Avendo optato per i stabilizzanti in x-lam, è necessario che i moduli esagonali siano planari. La planarità garantirà un processo di prefabbricazione più veloce e più completo, oltre a facilitare la fase di montaggio.

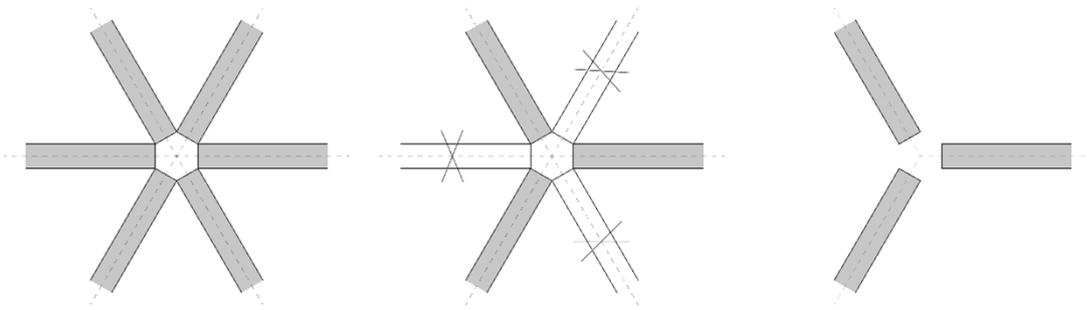


Figura 4: Genesi del nodo a tre vie

Il modulo è pensato in modo tale da poter essere interamente prefabbricato. L'esagono di glulam è pensato come un elemento unico, con i giunti a pettine necessari per ripristinare la continuità delle travi, mentre l'elemento stabilizzante in x-lam verrà incollato alla parte superiore in un secondo momento. Inoltre, si prevede la sagomatura dei bordi di questi moduli composti per facilitare la fase di montaggio. Con questa soluzione si potrà montare il guscio senza grossi ponteggi in quanto basterà progettare i denti lignei in grado di resistere al piccolo momento flettente che si genererà mentre la gridshell è incompleta. Il ripristino della continuità meccanica tra i pannelli è affidato a elementi di unione a gambo cilindrico.

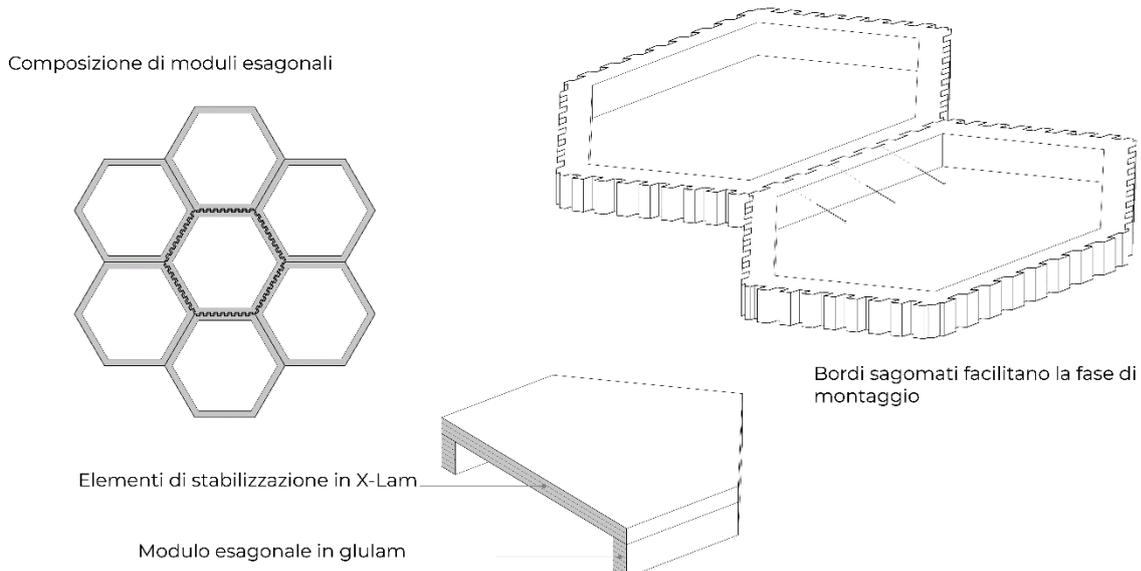


Figura 5: Definizione del modulo costruttivo

Un'architettura di questo tipo può trarre un beneficio enorme da una fase di prefabbricazione molto spinta. La prefabbricazione parte dai singoli pannelli che devono essere lavorati con le nuove tecnologie di fabbricazione tramite macchine CNC in quanto la sagomatura è un lavoro delicato e deve essere eseguito senza il minimo errore. In officina è possibile prefabbricare intere porzioni di guscio, della dimensione tale da permettere un agevole trasporto. A questo si può aggiungere, già in sede di prefabbricazione, il pacchetto praticamente completo, con solamente l'operazione di ripristino della guaina, in corrispondenza dei punti di accostamento di porzioni di guscio, da eseguire in cantiere.

## **4. Concorso Progettuale**

### **4.1. Elaborazione del Concept**

Il concept progettuale è stato sviluppato in base alle caratteristiche peculiari della zona emerse dall'analisi storica, unite agli intenti espliciti mediante i riferimenti progettuali e alla mia personale visione dell'opera, di cui il materiale legno è il primo e il più importante. L'atto di costruire è molto forte e cambia irrimediabilmente la morfologia e la percezione che si ha di un luogo. La prima operazione progettuale del concept è volta a mantenere più che costruire. Più precisamente, c'è la volontà di conservare, seppur in parte, l'esperienza del luogo lasciando liberi dei corridoi visivi e di passaggio. Si cerca, per quanto possibile, di mantenere una percezione simile a quella attuale che si ha all'uscita dai vicoli stretti della città storica per affacciarsi sulla piazza Kornhamströmg e quindi avere un contatto diretto con la costa e la città sull'altra sponda.

Il secondo importante elemento del concept è il dialogo con le preesistenze. Ciò consiste nel tenere in considerazione il luogo in cui si inserisce il progetto e sfruttarne le peculiarità. Con questo non mi riferisco soltanto agli edifici storici che si affacciano sulla piazza ma anche alla costa del lago Mälaren, con cui l'edificio si dovrà interfacciare e fare da ponte tra città e costa, oltre alla piazza in sé che, con la sua particolare forma, è un elemento con cui relazionarsi e creare un dialogo.

Si creerà un'esperienza di città nuova e antica andando a basare il progetto architettonico sulla linea del terreno e immaginando i nuovi volumi come la stessa pavimentazione della piazza che si solleva e genera lo spazio al suo interno per accogliere le funzioni del programma. Questo dialogo sarà rinforzato mediante l'uso dei materiali come il porfido per dare continuità materica tra la piazza e la copertura.

Infine, si restituirà uno spazio pubblico più fruibile ai cittadini e ai visitatori. Infatti, quest'ultimo intervento è volto a dare uno spazio verde pubblico di cui la città, come abbiamo visto, è ben fornita ma che è carente proprio nel centro storico, cercando di dare continuità alla linea verde intrapresa da Stoccolma ormai molto tempo fa.

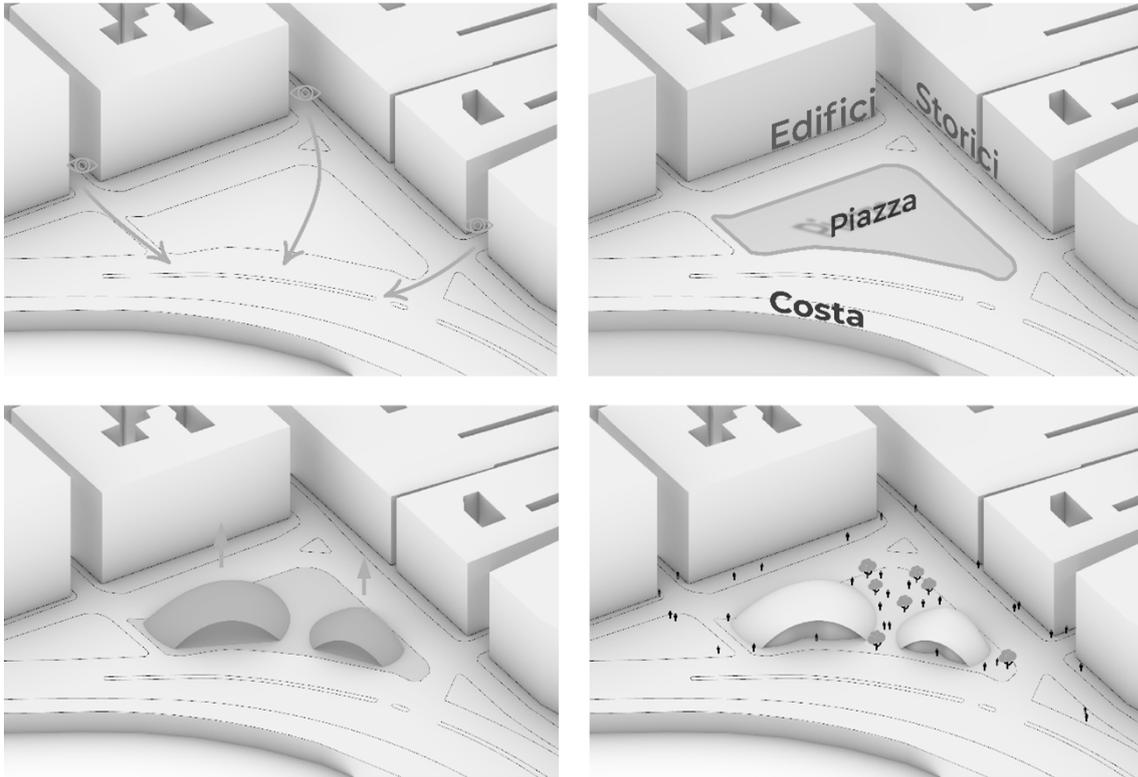


Figura 6: Concept di progetto

Gli elementi del concept così definiti entrano a far parte dei parametri fondamentali del processo architettonico e quindi di quegli elementi generativi dell'architettura di cui ho parlato nei capitoli precedenti.

## 4.2. Processo Architettonico

La sperimentazione oggetto della tesi necessita di approfondire il discorso della progettazione algoritmica e tutte le tematiche relative al form-finding su un caso di studio reale, con il risultato che sia qualcosa di tangibile e costruibile.

La ricerca del tema più adatto è stata fatta tra diversi bandi dei concorsi di progettazione. Tra le numerose possibilità è stato scelto il concorso per la progettazione di un Workshop Center per lavorazioni del legno a Stoccolma, più precisamente a Gamla Stan, ovvero il centro storico della città, organizzato da Start for Talents.

Il punto di partenza nello studio degli spazi è il programma del concorso progettuale definito dal bando:

Reception: 50 mq + area ristoro comune: 200 mq + 2 sale espositive: 100 mq cadauno + 2 Laboratori per la lavorazione del legno: 100 mq cadauno + Book shop: 70 mq + Spogliatoio personale di servizio: 30 mq + 2 Uffici personale di servizio: 50 mq cadauno + Locale impianti (idrico/elettrico): 100 mq + Deposito attrezzature per la manutenzione: 70 mq + Area verde comune: dimensioni libere + Parcheggio (esterno o interrato): 20/30 veicoli

A questo punto ho fatto uno studio sulla città di Stoccolma andando ad individuare le peculiarità e caratteristiche della zona dell'intervento. Lo studio dei riferimenti architettonici uniti alle caratteristiche della città è stato sintetizzato per la definizione del concept di progetto. La disposizione degli ambienti interni è stata sviluppata a partire dalle indicazioni del bando progettuale e in base ai percorsi degli utenti finali al fine di creare degli spazi organici e fluidi che accompagnassero i visitatori nel loro tragitto.

L'ingresso è posizionato nella parte centrale della facciata continua che si piega in corrispondenza della porta girevole e prosegue seguendo un arco più morbido fino ai bordi della cupola, in corrispondenza dei quali la curvatura si accentua lievemente. Si può notare

sin da subito che i punti inagibili in corrispondenza del congiungimento della cupola con i setti di calcestruzzo sono state inserite scale, cercando di sfruttare al massimo gli spazi a disposizione, valorizzando ciò che è un difetto delle cupole poggiate a terra.

Dalla pianta del piano terreno può sembrare che l'architettura sia composta da due volumi distinti che hanno in comune solamente l'estetica. La prima sulla sinistra, la più grande, dà accesso alle sale espositive, passando per una reception; la seconda, la più piccola, permette l'accesso agli uffici. La sala espositiva è pensata come un unico grande spazio in cui esporre gli elementi più grandi della collezione al termine della quale è presente una rampa di scale che porta al piano inferiore. Gli uffici della seconda cupola sono pensati come una sorta di spazio ibrido tra la tipologia degli uffici open space e quelli singoli con uno spazio riservato. Questo intento è stato raggiunto posizionando dei pannelli divisorii, sospesi mediante sottili cavi in acciaio che si attaccano sia alla cupola che al pavimento, realizzati con un vetro satinato seguendo archi di circonferenza. Il tutto dovrebbe restituire un senso di apertura e trasparenza ma con il beneficio di avere uno spazio privato dove lavorare.

Dalla pianta del livello -1 possiamo osservare come gli ambienti siano studiati per creare un'unica architettura con una distribuzione organica degli ambienti, amalgamati e distribuiti a seconda delle necessità degli utenti a cui è destinata l'opera. Nella parte di sinistra, scendendo le scale si procede con il percorso espositivo entrando nella seconda sala, racchiusa dai setti in calcestruzzo a vista. Sempre sotto la cupola grande troviamo il laboratorio, unico ma più grande rispetto ai due previsti dal programma, con i depositi che sfruttano gli spazi sotto le scale. A seconda delle necessità, l'ascensore del livello superiore può aprirsi sia verso la sala espositiva sia direttamente verso il laboratorio, permettendo di portare all'interno i materiali più pesanti.

Sotto la cupola più piccola si trova il ristorante con il bar, la cucina e i bagni. La posizione del ristorante è pensata per sfruttare il gioco dei volumi che si vede dal livello -1 generato dagli aggetti del solaio superiore e dallo spazio a tutta altezza sotteso al guscio.

Negli ambienti di raccordo tra le due cupole sono posizionati un book shop, che conclude il percorso delle sale espositive, gli spogliatoi e il locale degli impianti.

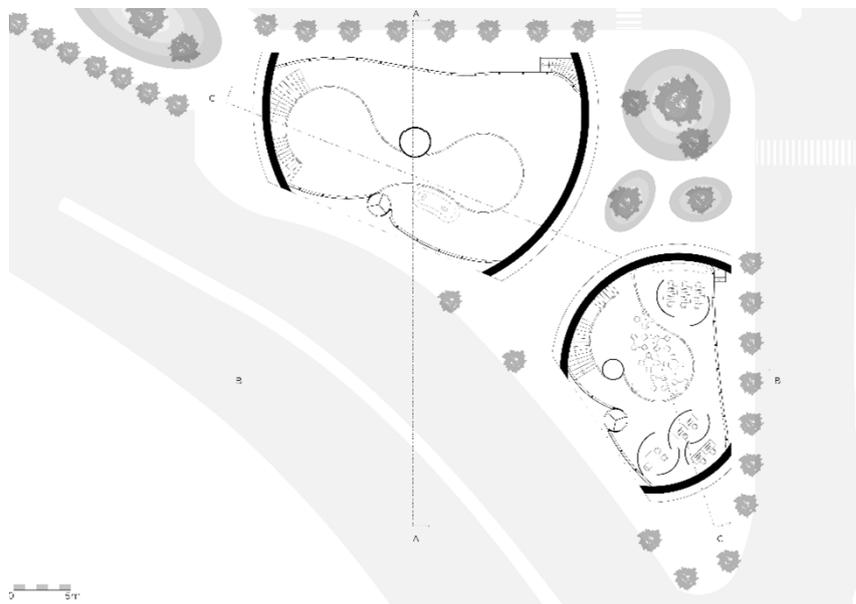


Figura 7: Pianta livello terra

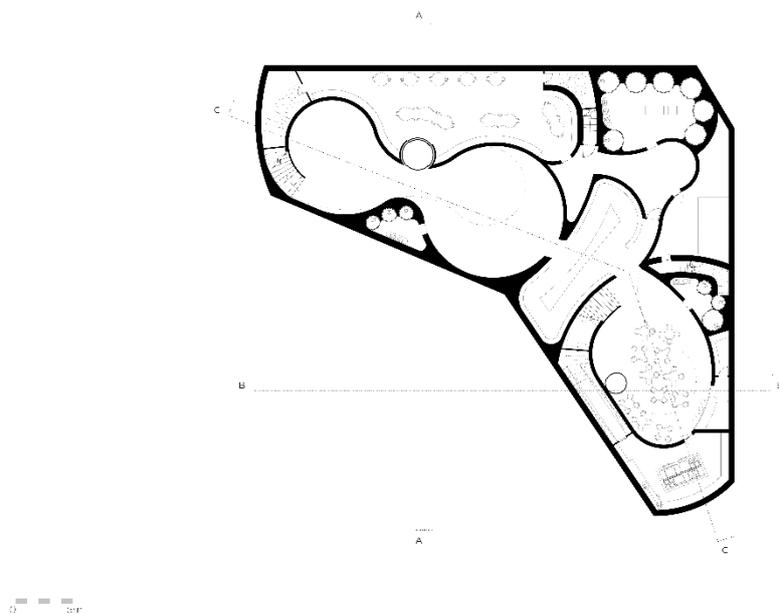


Figura 8: Pianta livello -1



Figura 9: Sezione C-C



Figura 10: Render vista Sud

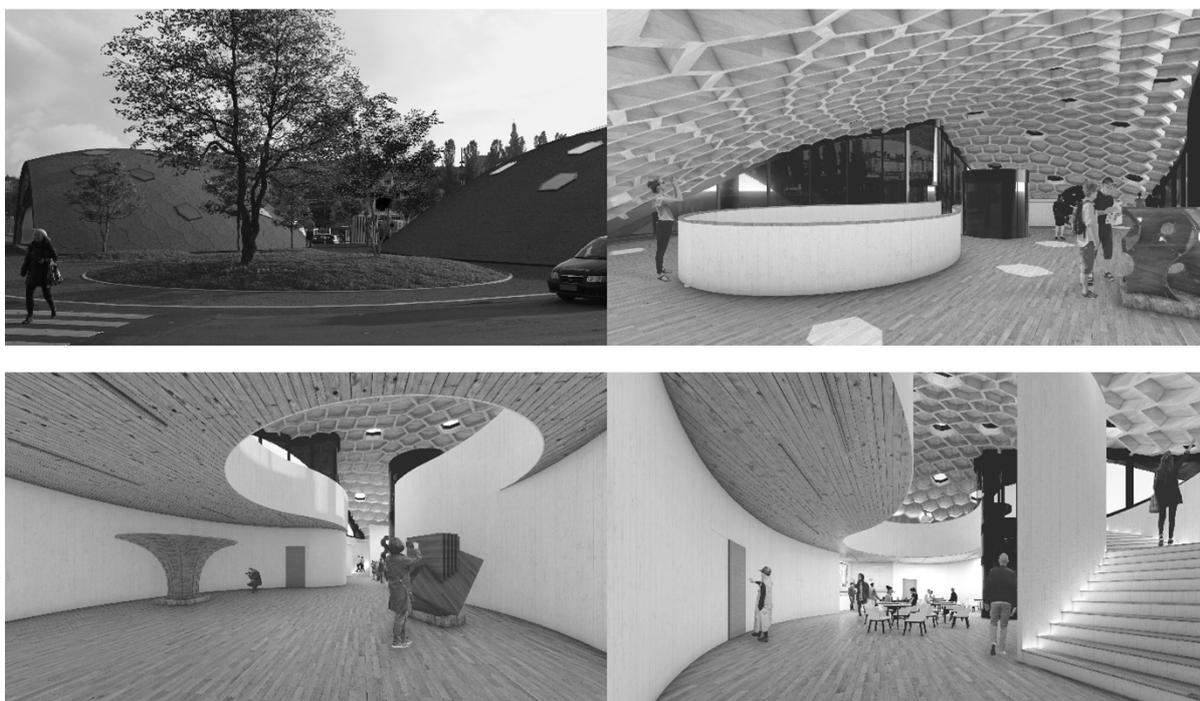


Figura 11: Render interni e vista Nord

### 4.3. Processo Generativo

La seconda fase, concettualmente parlando in quanto le fasi sono intrecciate piuttosto che sequenziali, concerne la realizzazione della copertura lignea mediante il metodo costruttivo delle gridshell. Ho preferito realizzare la copertura lignea non come un unico elemento che racchiude l'area ma come una forma che asseconi la visione dei due volumi distinti. Questa operazione, come già riferito nei precedenti capitoli, si basa sui concept in quanto i due gusci separati da un tratto di piazza comune caratterizza al meglio l'intento progettuale di lasciare liberi i corridoi visuali e di passaggio tra città e costa, oltre ad alleggerire lo step successivo di calcolo strutturale.

La forma dei due gusci non è definita solamente dalle esigenze architettoniche, anzi, ho aggiustato poche volte l'esito formale in base alla mia volontà preferendo che fosse il processo a guidare l'esito.

Questa parte di progettazione cerca di sfruttare a pieno le potenzialità del processo algoritmico avvalendosi degli ultimi strumenti per ciò che riguarda la progettazione. La forma deve maturare dal processo secondo il principio «form follow structure» in cui struttura e architettura vengono progettate assieme in funzione del bello e dell'efficiente. In quest'ottica, il risultato è il frutto di una serie di simulazioni che portano alla definizione della forma ideale in base ai parametri fondamentali del sistema. Si può parlare di un'architettura generativa creata mediante un algoritmo progettato per arrivare ad uno scopo piuttosto che ad una determinata forma, in base ad una serie di input principali che fanno riferimento a quelle caratteristiche su cui vogliamo avere il controllo e in base alle quali far girare tutto il progetto, e quindi, attorno alle quali sviluppare l'algoritmo.

## 5. Creazione dell'Algoritmo

### 5.1. Interoperabilità Live Sync

La scelta di questi software di progettazione è stata fatta in funzione della capacità di operare in live sync tra di loro. La tecnologia live sync è la sincronizzazione in tempo reale dello stesso oggetto tra diversi software. Questa non consiste solamente nella visualizzazione in tempo reale degli elementi a schermo ma anche l'aggiornamento istantaneo delle modifiche apportate. Prendiamo per esempio l'interoperabilità tra Rhinoceros, Revit e Lumion. In questo caso il live sync parte da Grasshopper che sfrutta Rhinoceros come dispositivo di output, ma tralasciamo questo primo step in quanto è Rhinoceros che si interfaccia con Revit. Il flusso avviene pertanto da Revit che, tramite Revit.Outside, permette di aprire delle finestre di dialogo con Rhinoceros e di conseguenza con Grasshopper. I due software lavorano in entrambe le direzioni, ovvero gli elementi sincronizzati possono essere modificati su entrambi i software e l'altro si adatterà di conseguenza. Possiamo definire questa interoperabilità come un flusso bidirezionale di informazioni con una perdita di dati nulla eseguita tramite una connessione in live sync. In Revit c'è la possibilità di operare in tempo reale con il software di post produzione e rendering come Lumion. Questa connessione però è diversa da quella precedente in quanto il flusso è decisamente più lineare, ovvero Revit→Lumion→render finali e non viceversa. Non vi è una reale necessità di avere la possibilità di un flusso bidirezionale di informazioni perché, sostanzialmente, i ruoli e le operazioni dei due software sono molto diversi. Le informazioni fornite da Revit vengono sfruttate dal punto di vista geometrico, svolgendo il ruolo del modellatore classico, mentre con Lumion è possibile fare le operazioni finali, paragonate ad un sistema classico come Blender o 3DS Max, come applicare le texture dei materiali, studiare l'illuminazione eccetera. È evidente che l'interoperabilità con un flusso bidirezionale non è necessaria anzi, appesantirebbe entrambi i programmi in quanto sarebbero utilizzati in modo anomalo rispetto a come sono stati concepiti.

L'ultimo esempio di interoperabilità che voglio analizzare è tra Grasshopper e SAP2000. Questa è di un altro tipo ancora rispetto alle due viste prima. La connessione avviene mediante il plug-in Geometry Gym che permette il corretto passaggio di dati tra elementi di Rhino e quelli di SAP2000. Non è propriamente una connessione in live sync come le precedenti bensì consiste nella creazione di file IFC efficaci e in tempo reale che permettono il passaggio Rhinoceros→SAP2000. Il processo non è invertibile ma il software SAP2000 è utilizzato sostanzialmente come strumento di analisi strutturale da cui estrapolare i dati per le verifiche, mentre tutta la progettazione dei carichi, vincoli ed elementi strutturali è eseguita con Grasshopper. Quindi non vi è una reale necessità, in questa fase, di avere una connessione in live sync ed è risultato sufficiente il modo di interfacciarsi in due step tramite Geometry Gym che permette, previa attivazione del comando Bake, di generale e aprire un file SAP2000.

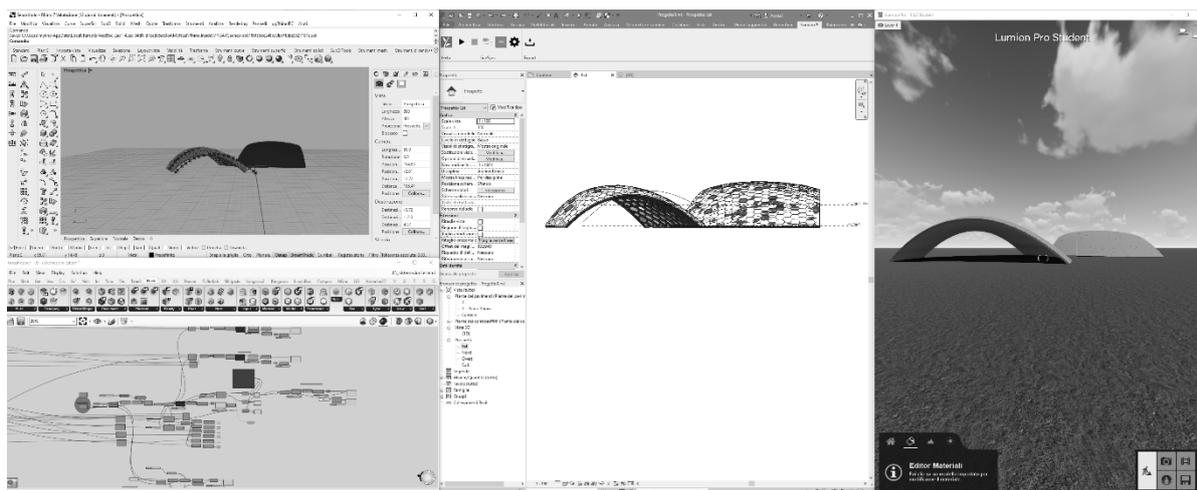


Figura 12: Esempio di Live Sync tra Grasshopper, Rhino, Revit e Lumion

## 5.2. Algoritmo Generativo

Il progetto volumetrico è stato sintetizzato in Revit, definendo tutti gli ambienti e gli elementi che lo compongono. In questa fase è importante catalogare gli elementi in funzione del loro ruolo futuro, ovvero facendo attenzione agli elementi appartenenti alla stessa categoria ma con funzioni diverse. Ad esempio, è stato necessario definire più di un tipo di muro perimetrale, avente la medesima stratigrafia, al fine di poter interagire direttamente, in modo veloce ed efficace, solamente con gli elementi aventi una specifica funzione e poter escludere in modo immediato gli altri. È stato questo il caso dei muri contro terra che, a seconda della posizione, potevano avere tre funzioni diverse: il punto di appoggio della gridshell, il punto in corrispondenza dell'apertura della cupola e il punto fuori dalle due cupole. Lavorare in questo modo mi ha facilitato la fase di interoperabilità tra Revit e Grasshopper.

Gli elementi devono essere sincronizzati in base alla catalogazione che se ne fa in Revit. Questa operazione è possibile mediante il plug-in Revit.Inside che fornisce un'intera serie di componenti per l'interoperabilità basati sulle funzioni di Revit.

Il processo generativo della gridshell inizia con l'estrapolazione delle geometrie a partire dagli elementi di Revit.

Mediante le liste di selezione ho filtrato tutti gli elementi superflui e non necessari, arrivando ad avere solamente il contorno della pianta definita da una linea continua.

Da questa linea ho estrapolato le linee singole corrispondenti ai quattro lati della geometria e quindi ho ricavati i vertici. È stata definita una superficie mediante i vertici estrapolati che rappresentano il punto di partenza della genesi della cupola.

La seconda parte del processo consiste nella simulazione della forma in risposta alla forza di gravità e ai vincoli imposti. Si procede dunque ad impostare tutti gli elementi necessari alla simulazione tramite il plug-in Kangaroo. La superficie è stata trasformata in mesh al fine di poter tenere sotto controllo le suddivisioni in direzione U e V. Sono stati estrapolati i vertici e i punti relativi alla nuova conformazione. I lati corrispondenti all'attacco a terra della gridshell sono stati catalogati come punti di ancoraggio, gli altri due lati come punti di apertura.

In una prima fase, ho pensato di lasciare alla simulazione la definizione della geometria delle aperture ma il risultato non era convincente dal punto di vista formale quindi ho trovato un'alternativa valida per risolvere il problema. Le aperture della gridshell sono create mediante una simulazione preliminare con la quale ne definisco la forma a catenaria. La simulazione è, tutto sommato, facile e coinvolge solamente le due linee e i punti giacenti su di esse. Con questa operazione ho potuto avere il totale controllo sull'altezza delle aperture, in quanto è bastato impostare la simulazione sul parametro «lunghezza» dei tratti compresi tra due punti consecutivi al fine di ottenere uno slider che permettesse la determinazione della forma in funzione della lunghezza mediante un'interazione dinamica.

Finite queste due operazioni più delicate e particolari si procede con la definizione delle caratteristiche della mesh, la quale viene utilizzata come output finale della simulazione. Si estrapolano i bordi dei rettangoli tramite i quali ho suddiviso la mesh e si creano le

diagonali per ciascuno di essi. Queste linee, sia diagonali sia i bordi dei rettangoli, si usano come elementi deformabili all'interno della simulazione che vengono interpretati come molle. I punti corrispondenti ai vertici di ogni rettangolo vengono caricati con una forza in direzione z e si procede con la simulazione.

Per poter proseguire con la pannellizzazione del guscio è stato necessario trasformare la mesh di nuovo in una superficie. Questa operazione permette di effettuare una simulazione chiamata circle packing. La superficie viene popolata di punti e, sempre mediante Kangaroo, si creano delle regole per cui si impone a questi punti una forza di repulsione reciproca, vincolata al piano della superficie. Tale operazione permette di approssimare la superficie con delle file ordinate di punti che possono essere spostati, in modo dinamico, se la disposizione di questi non dovesse essere corretta. La forza di repulsione è rappresentata dal raggio della circonferenza a cui è possibile associare ciascun punto, da cui prende il nome questo procedimento in quanto l'esito finale è un'approssimazione mediante i cerchi di una qualsiasi superficie.

Si procede dunque con la pannellizzazione della superficie approssimata mediante i punti. L'intento è quello di creare una maglia esagonale di pannelli lignei a partire dai punti appena ottenuti con la simulazione. L'obiettivo è stato raggiunto con un particolare strumento di poligonalizzazione delle mesh chiamato «Delunay Mesh» tramite il quale è stato possibile creare una mesh attraverso una triangolazione dei punti ricavati. Il passo successivo è di collegare la mesh al componente «MeshDual» che permette di definire una sorta di occupazione spaziale dei punti ricavati dalla simulazione precedente. Questo componente traccia una linea in corrispondenza del punto medio che unisce due punti di un lato della mesh creata con «Delunay Mesh» e restituisce una serie di poligoni che approssimano la superficie ottenuta con la simulazione iniziale.

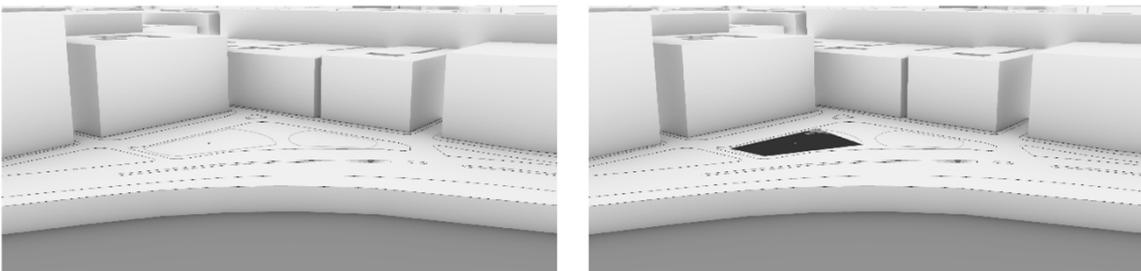
I poligoni ottenuti con questo procedimento non sono planari quindi è stato necessario impostare un'ultima simulazione al fine di planarizzare ciascuno di essi.

Sempre con l'ausilio di Kangaroo si è proceduto con la simulazione. Il processo è facilitato in quanto «MeshDual» restituisce come output una lista con tutti gli esagoni separati piuttosto che una serie di linee appartenenti ad un'unica lista. In questo modo è possibile estrapolare velocemente i punti relativi ai vertici di ciascuna geometria e costringerli, mediante la simulazione, a giacere sullo stesso piano. Per fare ciò è necessario dare un limite superiore e un limite inferiore alla lunghezza di ciascuna linea.

Con il plug-in NGON ho gestito gli esagoni e ho creato i moduli in glulam e i pannelli di x-lam. Con un ultimo passaggio, ho associato ad un piano ciascuna di queste geometrie, pannello e cella, che sono stati proiettati su di un piano, ordinati e pronti per il taglio tramite macchine CNC.

Il procedimento descrive la genesi della cupola più grande, però è sufficiente cambiare la geometria iniziale tramite la selezione e il filtraggio degli elementi di Revit e il processo risulta applicabile anche alla cupola più piccola senza necessità di modificare alcunché.

Infine, gli elementi componenti le gridhsell sono stati catalogate e associate a elementi di Revit tramite DirectShape che permette di avere le geometrie complesse dei gusci all'interno di Revit senza un grosso dispendio di tempo.



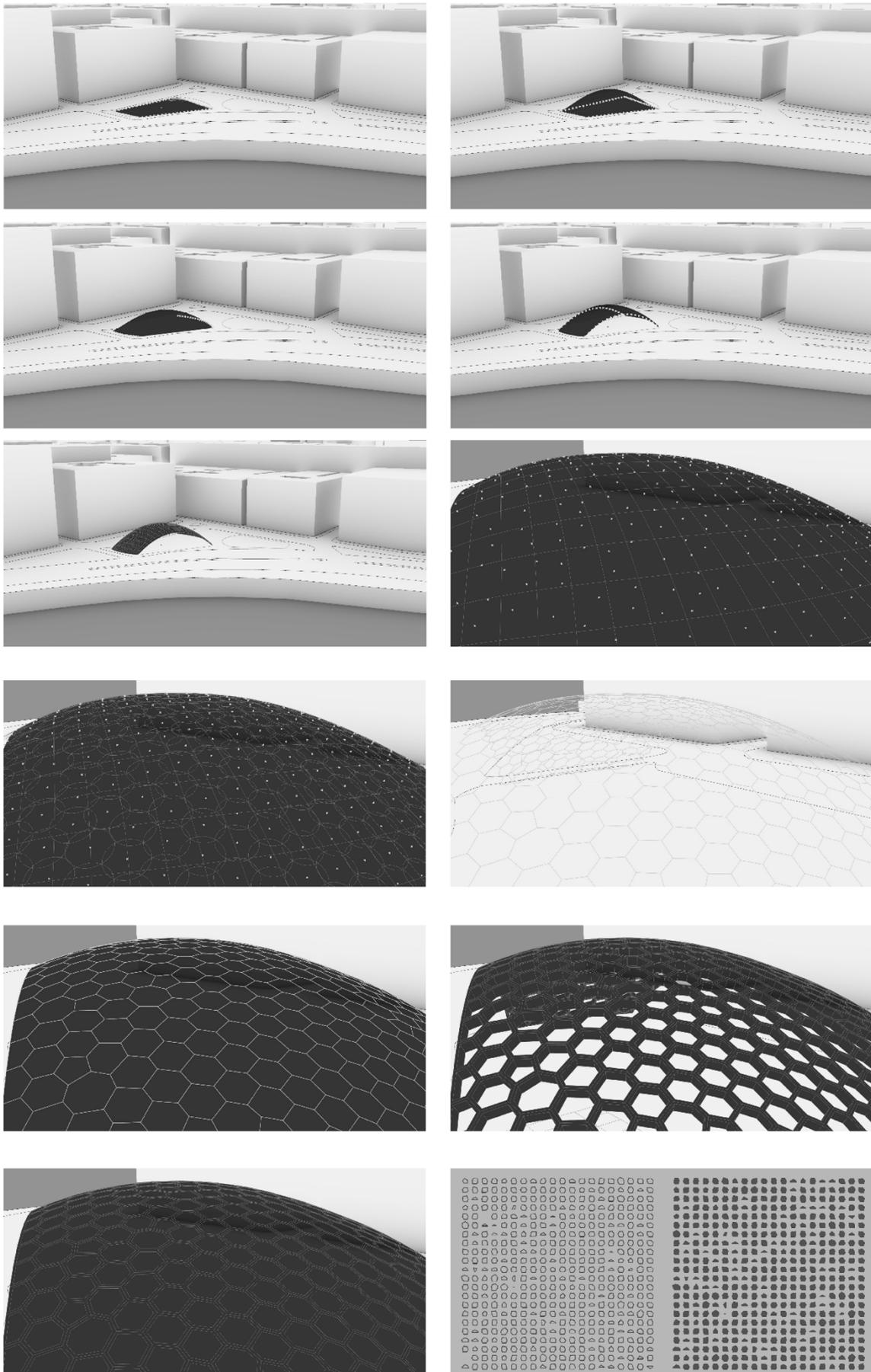


Figura 13: Sviluppo della geometria della gridshell mediante algoritmi simulativi

## 6. Analisi Strutturale

### 6.1. Sviluppo dell'Algoritmo Strutturale

Lo sviluppo dell'algoritmo strutturale è stato fatto mediante il plug-in Geometry Gym che fornisce una serie di schede con i componenti specifici per gli elementi di SAP2000. Si inizia con gli elementi geometrici definiti dall'algoritmo, esplicitato nel capitolo precedente. La mesh base con esagoni planari è l'elemento geometrico da cui partire con l'impostazione del progetto. Il componente «From Mesh» permette di ottenere sia la mesh sia le polilinee relative a ciascun pannello.

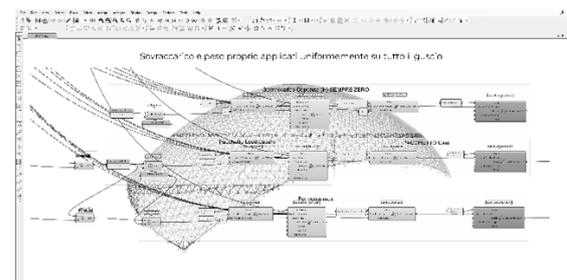
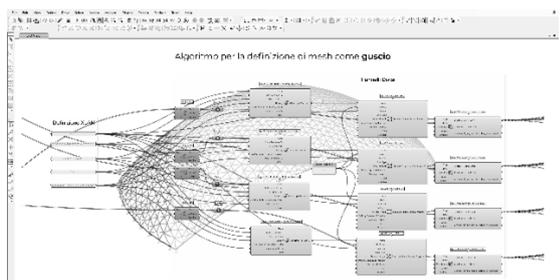
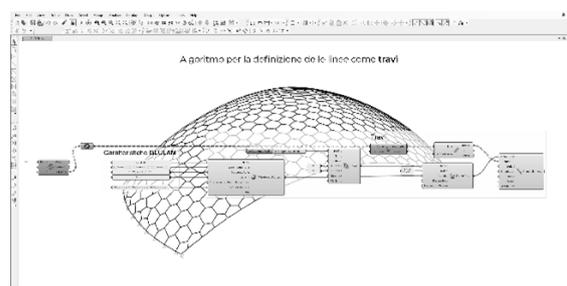
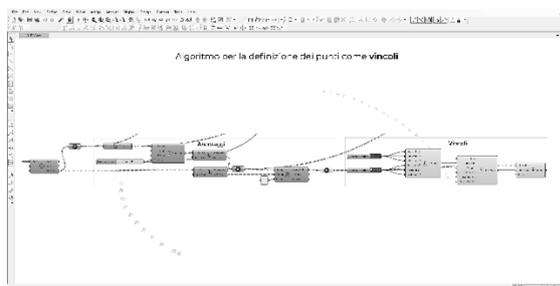
Si definiscono quindi i punti di ancoraggio a partire dalle polilinee dei pannelli di base, generando una superficie da esse e eseguendo un'operazione di selezione attraverso un piano imposto perpendicolare all'asse Z mediante uno slider di controllo su cui basare la selezione. Ai punti selezionati viene assegnata la condizione di vincolo e si impostano le caratteristiche specifiche dei vincoli che si vogliono ottenere, in questo caso i vincoli sono stati caratterizzati come cerniere.

Il secondo passo è quello di definire le travi in glulam. L'origine, in questo caso, sono le polilinee della mesh che, attraverso una serie di nodi di Geometry Gym, permettono di definire l'elemento Frame. Lo step successivo è un po' più delicato in quanto vi è la necessità di definire le caratteristiche degli elementi lignei, che non sono inseriti di default nel programma di calcolo come acciaio e calcestruzzo. Si procede dunque a creare un materiale ortotropo ed elastico secondo le schede tecniche dei fornitori del materiale strutturale, assegnando tali caratteristiche ad una sezione scelta da un catalogo di profili. È necessario creare un file specifico di Grasshopper per generare un catalogo con dimensioni corrette degli elementi, però è un'operazione che può essere eseguita anche all'interno di SAP2000. È sufficiente collegare le caratteristiche del materiale e della sezione così definiti alle polilinee per creare gli elementi Frame.

Successivamente, si procede con la caratterizzazione dei pannelli in x-lam. Per gli elementi del guscio si utilizza direttamente la mesh alla quale assegnare le caratteristiche geometriche e di resistenza. Non vi è bisogno di creare un profilario in quanto la geometria è data dalla mesh a cui è sufficiente associare uno spessore. Anche per x-lam è necessario andare a definire le caratteristiche del materiale in base ai dati forniti dalle certificazioni dei produttori. È stata fatta un'operazione particolare riguardo alla definizione del modulo di elasticità in quanto il pannello all'interno del guscio lavora nelle due direzioni ma il modulo di elasticità indicato non fa riferimento al pannello completo ma ai segati di cui è composto. Quindi è stato ricavato un modulo di elasticità rapportato alle aree, per le due direzioni principali.

La creazione di Finite Elements consiste nel collegare alle informazioni geometriche della mesh le Shell Property.

Una volta definiti gli elementi della gridshell in modo corretto è necessario effettuare lo studio dei carichi e delle diverse interazioni possibili.



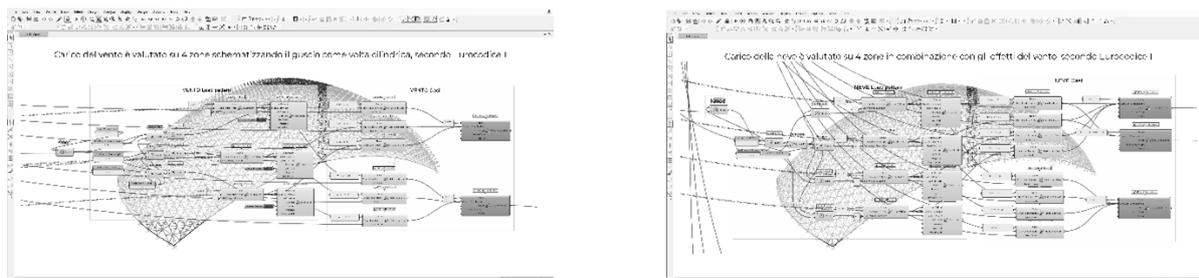


Figura 14: Definizione dell'algoritmo di analisi strutturale

## 6.2. Criticità del Modello

Il modello che ho realizzato presenta delle criticità che mi permettono solo di farne un uso parziale rispetto alle aspettative. Il problema si crea per la presenza di due elementi strutturali, il guscio e le travi, appartenenti alla stessa geometria iniziale. Questo fa sì che gli elementi strutturali che ho associato alle linee e alla mesh giacciono sullo stesso piano e vadano ad occupare, in un certo senso, lo stesso spazio. Per ovviare a questo problema servirebbe una modellazione 3D completa degli elementi strutturali tramite elementi finiti ma questa operazione necessiterebbe di uno studio apposito su modelli FE, studio che non è l'oggetto principale del lavoro di tesi.

Quindi, per riuscire a verificare gli elementi strutturali che concorrono a generare la grid-shell è stato necessario fare delle semplificazioni e dei ragionamenti su come poter utilizzare il modello già realizzato. Il modo più efficace di proseguire consiste nel dividere il modello in due. In uno si andrà a studiare la risposta statica del guscio con singoli pannelli di x-lam e nell'altro si studierà il comportamento del reticolo con sole travature in glulam. L'analisi realizzata in questo modo va a favore di sicurezza in quanto i carichi di progetto gravano allo stesso modo su ciascun modello in modo completo.

## 6.3. Verifica del Guscio in X-Lam

Ho generato il modello con le stesse condizioni al contorno del modello originale e ho estrapolato i risultati relativi alle azioni membranali dei pannelli in x-lam. Per la verifica dei pannelli ho fatto due studi differenti che, successivamente, sono stati uniti nella parte delle verifiche. Uno è quello già descritto del guscio intero da cui si estrapolano le tensioni nel piano del pannello, il secondo è un modello realizzato a parte da cui si ricavano i momenti sollecitanti fuori dal piano. In pratica, ho individuato i pannelli più grandi tra quelli aventi sollecitazioni di compressione/trazione elevate e gli ho proiettati sul piano. In corrispondenza di ciascun vertice ho inserito il vincolo di cerniera e ho caricato il pannello secondo le combinazioni di carico definite precedentemente. L'operazione di caratterizzazione del pannello e la successiva assegnazione dei carichi è stata molto rapida in quanto il modello algoritmico generato in Grasshopper si basa sulla geometria degli elementi e quindi è stato necessario solamente associare la nuova geometria per poter ottenere le combinazioni e i materiali corretti.

Da questo modello ho ricavato i momenti flettenti in direzione 1-1 e 2-2 dei due pannelli individuati come i più problematici.

L'ultima operazione è quella di progettare e verificare i pannelli tramite un foglio di calcolo. Le verifiche sono quelle combinate di pressoflessione e tensoflessione, eseguite secondo Eurocodice 5, con le quali è stato possibile progettare la sezione in modo approfondito.

Il dimensionamento del pannello di x-lam è stato fatto senza seguire le tabelle con le dimensioni predefinite in quanto questa scelta avrebbe portato ad un sovradimensionamento, con un conseguente aumento di peso, non necessario della struttura.

Ho scelto un pannello a tre strati con differenti altezze in funzione della direzione. Per la direzione 2-2, ovvero corrispondente allo strato centrale, è necessario uno spessore di 24 mm mentre per la direzione 1-1, avendo a disposizione 2 strati e un momento d'inerzia superiore dovuto al distanziamento dei due elementi dal centro del pannello, di 13 mm ciascuno. Il risultato finale è un pannello di 5 cm. Anche questo spessore sarebbe troppo elevato per le zone alte della cupola però lo spreco di materiale è giustificato dai lavori di raccordo tra i diversi pannelli che si dovrebbero effettuare in presenza di pannelli di dimensione diversa.

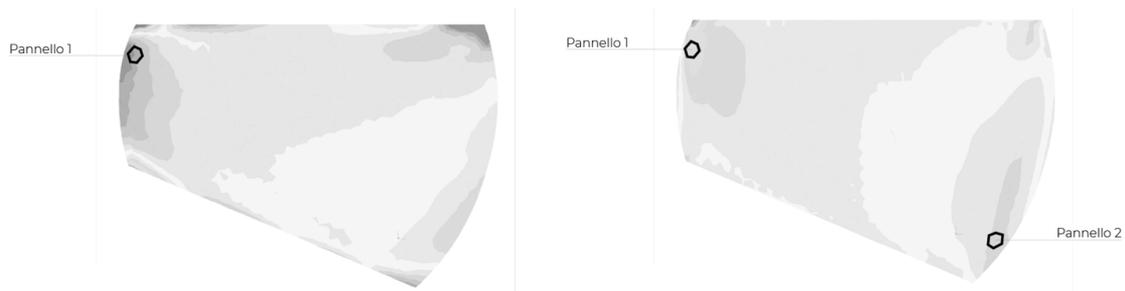


Figura 15: Analisi del comportamento di tipo «Guscio» della struttura

## 6.4. Verifica delle Travature in Legno Lamellare

Il modello con il solo reticolo definito dalle travature di glulam è quello che ho utilizzato per la verifica degli elementi più sollecitati ed è quello più importante in quanto sono questi gli effettivi elementi strutturali, mentre i pannelli in x-lam dovrebbero resistere alle sollecitazioni ma sono pensati come elementi di stabilizzazione.

È stato necessario un lavoro preliminare per ottenere un modello affidabile e veritiero sulla possibile risposta strutturale del guscio con tale geometria. In questo modello non si tiene conto direttamente dei pannelli in x-lam ma questi sono necessari per distribuire i carichi sulla griglia di travi in quanto il processo algoritmico si basa sull'elemento più esterno, che in questo caso sono i pannelli. I pannelli, quindi, non devono avere una risposta strutturale tipica degli elementi shell ma devono essere presenti come entità al fine di trasferire i carichi. Questa operazione è stata realizzata andando a cambiare le proprietà dei pannelli attraverso il pannello Section property riferito ai pannelli ad area modificando quindi le voci Membrane e Bending scalandogli di tre ordini di grandezza.

Questo modello ora non comprende gli elementi x-lam ma che, in realtà, danno un contributo significativo alla resistenza del guscio. Per sopperire a tale mancanza è stato necessario calcolare il contributo della sezione composta da trave più pannello rispetto alla sola trave. Attraverso le formule di Eurocodice 5 ho ricavato la rigidità efficace della trave a T, composta da pannello di x-lam e trave in glulam, considerando l'unione tra i due a totale ripristino della continuità e quindi considerando i due elementi come un blocco monolitico.

Calcolando la rigidità della trave, così come è nel modello di calcolo, ho potuto, tramite raffronto, ricavare un coefficiente da applicare alla trave nel modello SAP2000 al fine di compensare la mancanza del contributo dei pannelli in x-lam.

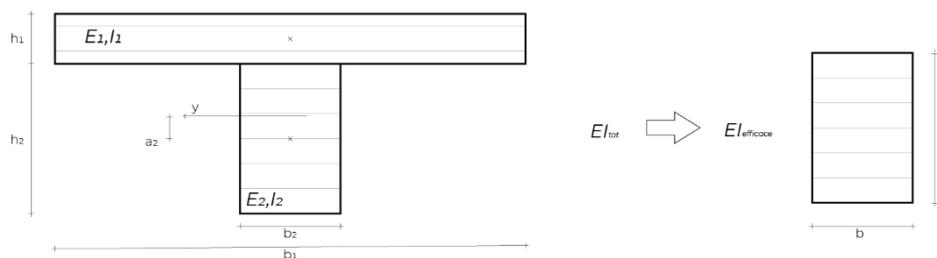


Figura 16: Trave equivalente

Il risultato della simulazione è stato inaspettato. Ci si aspettava che il guscio fosse interamente in compressione ma risultavano zone in cui questo aveva sollecitazioni di trazione. La particolare geometria della struttura ha generato una specie di archi in compressione e le connessioni tra questi archi risultavano in trazione, come se il guscio tendesse ad aprirsi sotto carico e gli elementi trasversali lo tenessero unito. Ho attribuito la causa di questo comportamento anomalo a essenzialmente due fattori. Il primo risale ad un errore dal punto di vista del form-finding in fase di concepimento della geometria iniziale del guscio, precisamente quanto ho forzato la forma delle due aperture ad assumere una forma a catenaria piuttosto di lasciare che la superficie asseconduesse i carichi gravitazionali. Il secondo fattore è intrinseco nella geometria dei pannelli esagonali. Provando a caricare nel piano un esagono singolo, con due appoggi posti dalla parte opposta alla direzione del carico, questo avrà gli elementi laterali in compressione e il tratto centrale in trazione. Mi è sembrata una condizione simile a quella in cui si trovano gli esagoni della struttura e la distribuzione delle tensioni congrua a ciò che osservavo nel guscio.

Ritenendo quindi corretto il modello realizzato sino a qui ho eseguito le verifiche strutturali sull'elemento più sollecitato in corrispondenza dell'appoggio, quindi ho progettato un possibile collegamento con il setto.

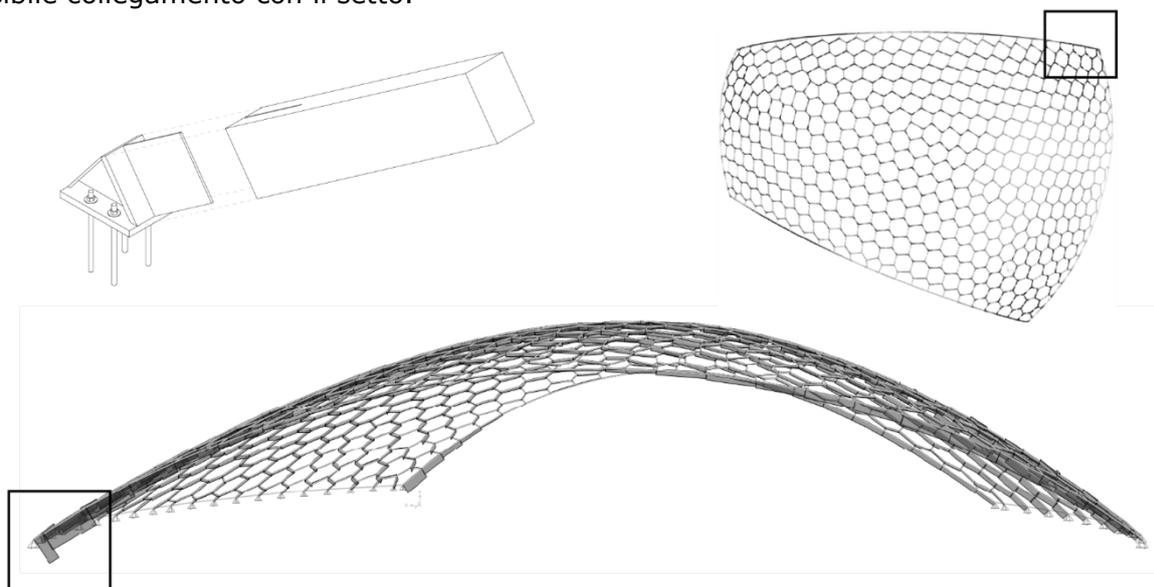


Figura 17: Analisi strutturale della gridshell

Innanzitutto, ho definito la forma generale della connessione e i modi di lavorare di questa e, solo in seguito, ho sviluppato i calcoli relativi al legno e all'acciaio.

La verifica dell'elemento ligneo è più vincolante se eseguita in corrispondenza della connessione in quanto è più restrittiva a causa dei fori di alloggiamento delle piastre e dei connettori a gambo cilindrico. Il progetto della sezione eseguito sui carichi agenti direttamente sull'elemento ligneo restituisce una dimensione minima di 24 cm di altezza e 16 cm di base delle travi in glulam.

È previsto che lo sforzo di compressione venga trasferito direttamente per contatto tra legno e acciaio mentre è posizionata una trave in corrispondenza dell'appoggio che unisce tutti gli elementi lignei alla base e ridistribuisce le tensioni di taglio tra tutti i vincoli presenti che vengono riportati al setto tramite i tirafondi.

La piastra di contatto è stata analizzata in SAP2000 come un elemento bidirezionale su appoggi continui in corrispondenza dei piatti verticali caricata con il carico derivato dalla tensione di compressione dell'elemento ligneo. Si è visto che la piastra di contatto soffre la combinazione degli effetti taglianti con il momento ed infatti lo spessore per questa, che risulta la più sollecitata, è di 24 mm mentre gli elementi verticali non hanno particolari problemi e la verifica è soddisfatta con uno spessore di 8 mm.

Per agevolare la messa in opera della connessione in funzione del serraggio dei tirafondi la piastra di base è più grande di quella di contatto, quindi non ho eseguito le verifiche in quanto il carico è il medesimo ma l'elemento strutturale è più grande.

## 7. Conclusioni

Alla fine di questa sperimentazione vorrei fare, innanzi tutto, qualche commento sul processo. Realizzare un progetto mediante algoritmi è stata un'impresa ed infatti non tutte le parti che lo compongono hanno beneficiato del nuovo metodo. In base alle mie conoscenze e competenze in merito alla progettazione parametrica posso dire che alcune fasi di progettazione hanno molti vantaggi ad essere sviluppate ancora in modo tradizionale piuttosto che avvalersi degli algoritmi. Questo, credo, sia causa della mia giovane conoscenza nell'ambito della progettazione parametrica, che racchiude un nuovo mondo di possibilità che si può acquisire con la pratica e lo sviluppo della visione di un progetto attraverso un processo basato sugli algoritmi. Il flusso di lavoro attraverso parametri e algoritmi permette di gestire geometrie molto complesse sia dal punto di vista architettonico sia ingegneristico ma a spese di un apprendimento molto lento del software (linguaggio), specie se paragonato agli altri.

In secondo luogo, vorrei soffermarmi sugli esiti. Il connubio tra architettura e ingegneria è stata l'idea alla base di questa tesi e quindi sono stati fatti compromessi tra le volontà espressive e necessità strutturali al fine di mantenere l'equilibrio. La forma delle due cupole è fortemente influenzata dal modulo che, unito alla manipolazione delle aperture, determina un comportamento statico anomalo. Inoltre, il modello di analisi presenta delle criticità che sono state aggirate ma che avrebbero bisogno di uno studio ingegneristico molto più approfondito che va al di là delle mie competenze.

Il lavoro svolto da me consiste, in pratica, in un'ottimizzazione geometrica. Sarebbe interessante proseguire con l'analisi ed eseguire un'ottimizzazione strutturale al fine di ottimizzare la lunghezza delle singole aste in base alle sollecitazioni, creando una connessione interattiva tra il modello parametrico e i software di calcolo strutturale. Sarebbe anche interessante confrontare, a parità di vincoli e geometria, l'efficacia dei diversi moduli scartati in fase di definizione come quello triangolare e quadrilatero.

Ritengo questa prima sperimentazione di architettura generativa riuscita ma molto lontana dall'essere perfetta in quanto alcune criticità sono state risolte in modo più pratico piuttosto che nel modo migliore. Inoltre, giungo a conclusione che la creazione di un modello unico in live sync forse è ancora prematura in quanto vi è necessario avere a disposizione dell'hardware di altissimo livello poiché i software, talvolta, sono male ottimizzati e gravano troppo su alcune componenti del PC mentre non vengono sfruttate a pieno le capacità computazionali della macchina.

## 8. Bibliografia

- Adriaenssens S., Block P., Williams C., *Shell structures for Architecture*, Routledge, 2014  
 Blaauwendraad J., Hoefakker J. H., *Structural Shell Analysis*, Springer, 2014  
 Burry M., *Scripting culture architectural design and programming*, John Wiley & Sons Ltd, 2011  
 Carpo M., *The alphabet and the algorithm*, The MIT Press, 2011  
 Frazer J., *An evolutionary Architecture*, 1995  
 Jeska S., Saleh P. K., *Emergent timber technologies materials structures engineering projects*, Birkhauser, 2015  
 Leonhardt F., *Calcolo di progetto & tecniche costruttive, vol 3*, 1986  
 Menges A., Schwinn T., Krieg D., *Advancing wood architecture a computational approach*, Routledge, 2017  
 Musmeci S., *L'industria italiana del cemento-Il ponte sul Basento*, 1977  
 Nervi P. L., *Architettura come sfida*, 1979  
 Piazza M., Tomasi R., Modena R., *Strutture in legno*, Hoepli, 2005  
 Pone S., *Gridshell: i gusci a graticcio in legno tra innovazione e sperimentazione*, Alinea, 2012  
 Schumacher P., *The autopoiesis of architecture a new agenda for architecture, vol. 1*, John Wiley & Sons Ltd, 2011  
 Schumacher P., *The autopoiesis of architecture a new agenda for architecture, vol. 2*, John Wiley & Sons Ltd, 2012  
 Schumacher P., *Parametricism 2.0*, John Wiley & Sons Ltd, 2016  
 Tedeschi A., *AAD Algorithms-Aided Design*, Le Penseur, 2014  
 Woodbury R., *Elements of parametric design*, Routledge, 2010  
 Boller G. Schwartz J., *Modelling the form. Heinz Isler, Frei Otto and their approaches to formfinding*, 2020  
 Chilton, J., Chuang, CC., *Rooted in Nature: Aesthetics, Geometry and Structure in the Shells of Heinz Isler*, Nexus Netw, 2017  
 Ekkenard Ramm, *Journal of the international association for shell and spatial structures - Shape finding of concrete shell roofs*, 2004  
 English E., *Vladimir Schuckhov and the invention of Hyperboloid structures*, 2005  
 Isler H., *New shapes for shells*, 1959  
 Isler H., *World congress on shell and spatial structures-New shapes for shells*, 1979  
 Otto F., *Biologie und Bauen*, 1976  
 Otto F., *Die forschungsgruppe Biologie und Bauen*, 1984

# **Pareti di taglio a telaio leggero in legno dotate di dispositivo ricentrante**

Raniero Leendert Casesa  
Università degli studi di Trieste  
Trieste, Italia

2 Pareti di taglio a telaio leggero in legno dotate di dispositivo ricentrante | R. L. Casesa

# Pareti di taglio a telaio leggero in legno dotate di dispositivo ricentrante

## 1. Introduzione

È noto come l'attuale normativa italiana [1], preveda che le costruzioni soggette ad una significativa azione sismica e non dotate di appositi dispositivi d'isolamento e/o dissipativi, debbano essere progettate in accordo con uno dei seguenti approcci: a) Comportamento strutturale *non dissipativo*; b) Comportamento strutturale *dissipativo*. Nel caso di comportamento strutturale *dissipativo*, in genere un elevato numero di collegamenti evolvono in campo plastico, dissipando energia, mentre la restante parte della struttura rimane in campo elastico. Gli elementi strutturali in legno sono caratterizzati in genere da un comportamento elasto-fragile e vengono quindi considerati *non dissipativi*. Gli unici elementi in grado di dissipare energia sismica sono le connessioni metalliche, che quando ben progettate, devono per questo motivo essere caratterizzate da elevata duttilità. Le ragioni per cui risulta importante realizzare strutture dotate di elevata duttilità sono quelle di [2] :

- assicurare che la rottura non avvenga in modo improvviso;
- permettere la redistribuzione delle forze tra i diversi elementi che compongono la struttura;
- permettere la dissipazione energetica durante un evento sismico.

Anche la progettazione di strutture in legno è, come noto, basata in genere nel soddisfare i requisiti sopra esposti di elevata capacità dissipativa.

Considerando l'elevata importanza che il problema sismico ha in Italia e nel mondo, lo sviluppo di tecnologie e metodi strutturali atti a ridurre l'impatto spesso catastrofico di un sisma violento, ha un ruolo sempre più importante nel mondo delle costruzioni. Considerata la vasta scala su cui questo problema si presenta, è oltremodo rilevante cercare soluzioni che uniscano assieme praticità ed economicità. Attraverso il lavoro di ricerca presentato nel seguito, si vuole esplorare la possibilità di realizzare un controvento ricentrante per strutture a pareti portanti intelaiate in legno basato sull'uso di cavi in acciaio ad alta resistenza che operino in campo elastico. L'intrinseca semplicità del sistema potrebbe rappresentare un motivo di diffusione della metodologia proposta, anche come soluzione di retro-fitting.

## 2. Sistemi ricentranti

Tradizionalmente, uno dei sistemi strutturali più utilizzati e diffusi nell'ambito delle costruzioni in legno è quello costituito da pareti portanti intelaiate. In questa concezione strutturale il contributo è dato dalla deformazione plastica di connettori a piccolo diametro (chiodi o cambrette) che collegano il pannello di rivestimento al telaio, mentre i dispositivi di ancoraggio atti ad evitare il ribaltamento della parete (elementi hold-down) e lo scorrimento alla base (squadrette) sono progettati per esibire un comportamento pressoché elastico. In genere, questo sistema, pur presentando significativi riscontri applicativi, può presentare anche alcune limitazioni, come:

- *Poca flessibilità*: contando su un tipo di dissipazione integrato nell'elemento strutturale, non si può raggiungere la desiderata capacità dissipativa senza la presenza di elementi di parete senza aperture[2];
- *Deformazione residua significativa e mancanza di ricentraggio*: I vari elementi preposti alla dissipazione, una volta deformati, non presentano, in genere, capacità di ricentraggio e la loro sostituzione può presentare un costo aggiuntivo non indifferente, considerando la moltitudine di elementi dissipativi in genere utilizzati;
- *Pinching elevato*: La capacità dissipativa delle connessioni acciaio-legno dipende dall'interazione tra i due materiali ed è caratterizzata da fenomeni di contatto e rifollamento locale del legno significativi e complessi.

Per quanto riguarda il problema di *ricentraggio*, in questo lavoro viene analizzato l'uso di tiranti in acciaio pre-tesi o non pre-tesi, posti sulle diagonali dei singoli pannelli. Il sistema di cavi viene quindi utilizzato in parallelo a quello degli elementi dissipativi delle classiche pareti di taglio in legno.

### 3. Sistema ricentrante proposto

Nella Figura 1 è riportato lo schema costruttivo del sistema proposto. Esso è costituito da una classica parete portante intelaiata in legno, realizzato mediante un telaio in legno su cui sono chiodati uno o due pannelli in legno, posti ai lati del telaio, mentre nella parte interna sono collocati i cavi per il ricentraggio. La composizione in parallelo del telaio leggero e del sistema di ricentraggio, trovano immediata rispondenza nella risposta ciclica indicata in Figura 2, dove si osserva come alla risposta ciclica tipica del telaio in legno si sommi la risposta lineare elastica dovuta ai cavi.

La parete presa in considerazione e' quella analizzata in [3], identificata tramite il codice C\_ST\_L0, ha dimensioni 2.5 m x 2.5 m, con spaziatura tra montanti costante pari a 625mm ed è composta da:

- montanti esterni in legno massiccio C24 e dimensioni 120x140mm;
- montanti interni in legno massiccio C24 e dimensioni 80x140mm;
- pannelli di rivestimento OSB/3 di spessore 15mm su entrambi i lati, collegati tramite chiodi di tipo ring nail 2.8x60 mm con spaziatura costante pari a 100 mm sui bordi del pannello.;
- 4 Angolari tipo New150 (spessore t=3mm; larghezza b=150mm; altezza H=50mm) collegati alla parete con 12 chiodi Anker 4x60 mm [4];
- 2 Hold-Down tipo RP (spessore t=3mm; larghezza b=60mm; altezza H=340mm) collegati alla parete con 20 chiodi Anker 4x60 mm [4];

Ai fini delle analisi parametriche, oltre alla parete appena citata, si e' anche analizzata la stessa parete ma con una coppia di Hold Down differente, in particolare:

- 2 Hold-Down tipo RG (spessore t=3mm; larghezza b=80mm; altezza H=620mm) collegato al pannello con 52 chiodi Anker 4x60 mm [4]

In tabella 1 sono riassunte le caratteristiche geometriche delle due pareti a taglio analizzate (parete 1 e parete 2):

Tabella 1: Caratteristiche delle pareti analizzate

Parete 1					
Pannello (interno):	OSB3		Pannello (esterno):	OSB3	
spessore:	15	[mm]	spessore:	15	[mm]
connettori:	Ring nail		connettori:	Ring nail	
Φ:	2.8	[mm]	Φ:	2.8	[mm]
l:	60	[mm]	l:	60	[mm]
spaziatura:	100	[mm]	spaziatura:	100	[mm]
Angolare:	NEW150		Hold-Down:	RP	
numero:	4		numero:	2	
Connettore:	Anker		Connettore:	Anker	
Φ:	2.8	[mm]	Φ:	2.8	[mm]
l:	60	[mm]	l:	60	[mm]
numero:	12		numero:	20	

Parete 2					
Pannello (interno):	OSB3		Pannello (esterno):	OSB3	
spessore:	15	[mm]	spessore:	15	[mm]
connettori:	Ring nail		connettori:	Ring nail	
Φ:	2.8	[mm]	Φ:	2.8	[mm]
l:	60	[mm]	l:	60	[mm]
spaziatura:	100	[mm]	spaziatura:	100	[mm]
Angolare:	NEW150		Hold-Down:	RG	
numero:	4		numero:	2	
Connettore:	Anker		Connettore:	Anker	
Φ:	2.8	[mm]	Φ:	2.8	[mm]
l:	60	[mm]	l:	60	[mm]
numero:	12		numero:	52	

L'effetto risultante dovuto alla presenza dei cavi è quello riportato nella Figura 2c, dove la risposta è caratterizzata da una più elevata rigidità e resistenza del sistema, nonché da una deformazione residua molto ridotta. In presenza di cavi non pre-tesi, lavorerà solo la diagonale tesa e la rigidità laterale del sistema dovuta al cavo teso può dimostrarsi facilmente essere pari a:

$$K_1 = \frac{E A_d \cos^2 \theta}{l_d} \quad (1)$$

dove  $E$  è il modulo di Young dell'acciaio,  $A_d$  ed  $l_d$  rispettivamente l'area e la lunghezza del cavo,  $\theta$  l'angolo che esso forma con l'orizzontale.

Qualora ai cavi sia invece applicata una pre-tensione  $P_o$  e il sistema si deformi lateralmente, un cavo si allunga e si carica ancora di più, mentre l'altro man mano si scarica senza instabilizzare. Questo comportamento aumenta la rigidità del sistema, facendo sì che per un determinato valore di deformazione laterale, possa essere considerata raddoppiata e pari a:

$$K_2 = \frac{2 E A_d \cos^2 \theta}{l_d} \quad (2)$$

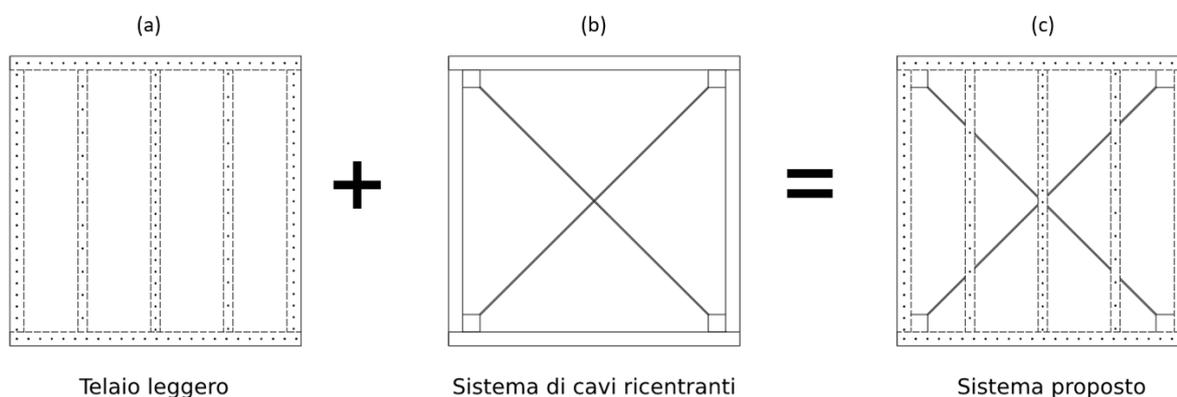


Figura 1: telaio leggero (a), sistema di cavi ricentranti (b), sistema proposto (c)

Entrambi i sistemi visti, senza e con pre-tensione applicata, qualora si utilizzino cavi ad alta resistenza, possono quindi essere usati come sistema ricentrante ed il compito di dissipare energia rimane ancora a carico dei chiodi del pannello.

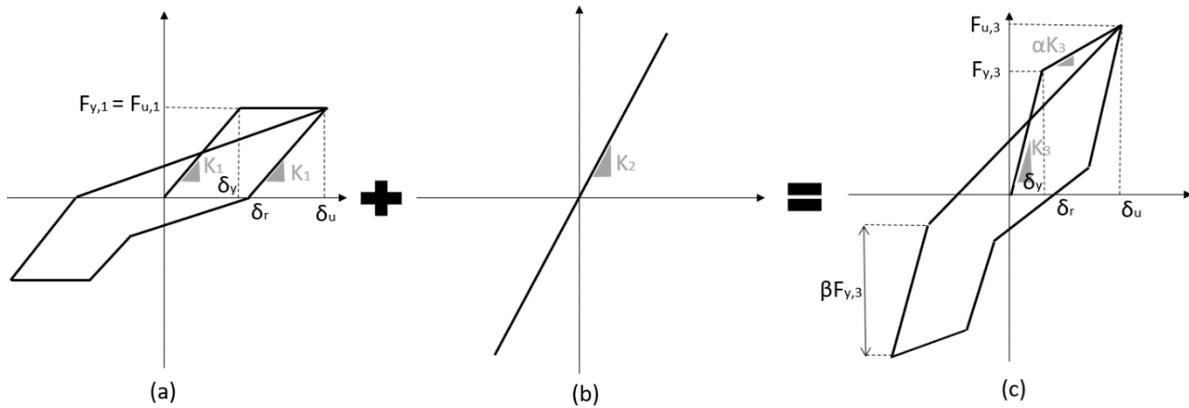


Figura 2: Composizione degli effetti in seguito all'accoppiamento con i tiranti in acciaio. a) Risposta della parete in legno. b) Risposta del cavo. c) Risposta complessiva.

Quando questi due sistemi si combinano, si ottiene pertanto un sistema ibrido in cui le chiodature poste sui pannelli della parete fungono da elementi dissipativi e le diagonali da elementi ricentranti. Il diagramma che ne deriva risulta pertanto a "farfalla" (Figura 2). I parametri che maggiormente influenzano la risposta complessiva sono[5]:

- $\alpha$ , fattore di riduzione della rigidezza del sistema composto;
- $\beta$ , fattore di riduzione dello sforzo limite di scarico elastico.
- $F_y/F_{y,0}$ , rapporto tra lo sforzo limite di fase elastica del sistema combinato e quella iniziale privo di controvento.

Da una analisi preliminare, effettuata sulla base del modello analitico sopra indicato, andando a variare il diametro dei cavi, nell'ipotesi di cavi pre-tesi o funi semplici per la parete1 si sono ottenuti i risultati riportati nelle tabelle 2 e 3, dove con % di ricentraggio =  $(\delta_{ult} - \delta_{res})/\delta_{ult} \times 100$ .

Tabella 2: Parametri del modello isteretico per diversi diametri di cavo ricentrante nel caso di pre-tensione e non

Cavi pre-tesi				Cavi non pre-tesi			
$\Phi$ [mm]	$\alpha$ [-]	$F_y$ [kN]	$F_y/F_{y,0}$ [-]	$\Phi$ [mm]	$\alpha$ [-]	$F_y$ [kN]	$F_y/F_{y,0}$ [-]
4	0.23	12.2	2.39	4	0.13	10.8	1.15
6	0.4	15.7	1.65	6	0.25	12.6	1.33
8	0.54	2.5	2.16	8	0.37	15.0	1.58
10	0.64	26.7	2.82	10	0.48	18.1	1.91
12	0.72	34.3	3.62	12	0.57	21.9	2.31
15	0.8	48.3	5.09	15	0.67	28.9	3.04

Tabella 3: Percentuale di ricentraggio per i due diversi sistemi di ricentraggio in funzione del diametro del cavo

Cavi pre-tesi			Cavi non pre-tesi	
$\Phi$ [mm]	$\delta_{res}$ [mm]	% ricentraggio [-]	$\delta_{res}$ [mm]	% ricentraggio [-]
no cavi	10.0	42%	10.0	42%
4	3.8	78%	5.7	67%
6	2.1	87%	3.5	79%
8	1.3	92%	2.4	86%
10	0.9	94%	1.7	90%
12	0.6	96%	1.2	93%
15	0.4	97%	0.8	95%

## 4. Modellazione numerica delle pareti portanti intelaiate senza cavi

La parete studiata analiticamente è stata successivamente analizzata anche numericamente tramite il codice di calcolo SAP2000 [6]. Il telaio in legno massiccio è stato modellato mediante elementi frame 1D, i pannelli di rivestimento tramite elementi shell 2D. I collegamenti in acciaio, sia i chiodi che fissano i pannelli al telaio, che i dispositivi di ancoraggio al sistema di fondazione (angolari e Hold-Down) sono stati modellati come elementi *link*, ai quali si è assegnato un comportamento meccanico sulla base di prove sperimentali [4]. Per il comportamento non lineare degli elementi link è stato utilizzato un modello non lineare ciclico tipo Pivot [6], in grado di riprodurre il fenomeno di pinching dei collegamenti.

L'analisi numerica è stata eseguita tramite analisi Time History, utilizzando il metodo della fast non-linear analysis.

Per validare il modello è stato effettuato il confronto tra la curva rappresentativa della risposta sperimentale ciclica della sola parete in legno (Figura 3) e quella ottenuta mediante il modello numerico (Figura 4). Essendo la differenza in termini di energia dissipata e accumulata inferiore del 10%, il modello numerico utilizzato è stato considerato validato ed utilizzabile per le indagini numeriche presentate nel seguito.

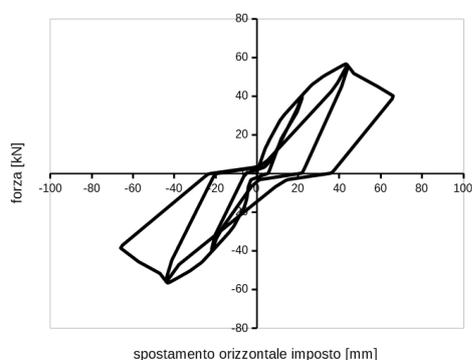


Figura 3: Curva ciclica Forza - Spostamento del modello numerico

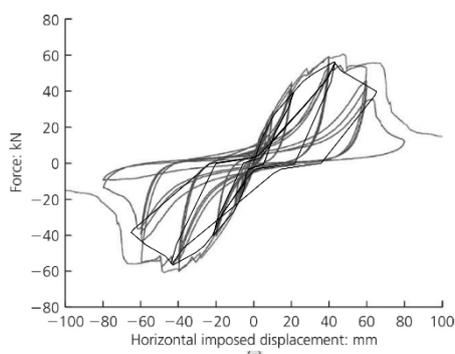


Figura 4: Curva ciclica Forza-Spostamento del modello numerico sovrapposta a quella sperimentale

## 5. Studio del comportamento di pareti portanti intelaiate dotate di cavi ricentranti

### 5.1. Parete con cerniera fissa alla base senza pre-tensione dei cavi

Utilizzando il modello sopra descritto, relativo alla sola parete intelaiata, nell'ipotesi di utilizzare aste diagonali non pre-tese, si è effettuata una prima analisi parametrica. Affinché le diagonali rimangano in campo elastico è stato utilizzato un acciaio di classe S800 con tensione di snervamento pari a 800 Mpa. Il primo tipo di analisi effettuata è stata una analisi del primo ordine. Conseguentemente, il modello non è risultato influenzato da problemi di stabilità delle diagonali ed è stata modellata una sola diagonale reagente elasticamente in trazione e in compressione. Affinché il sistema ricentrante svolga un ruolo adeguato è necessario che gli Hold-Down siano sovra resistenti e sufficientemente rigidi. In una prima fase si è pertanto considerato il telaio in legno come perfettamente incernierato alla fondazione. In queste ipotesi, i risultati ottenuti, al variare del diametro della diagonale sono riportati in Figura 5. Si può immediatamente osservare come all'aumentare dell'armatura, utilizzando anche diametri limitati, si assista ad un netto miglioramento sia in termini di resistenza massima della parete che della deformazione ciclica residua. In particolare, con un diametro delle diagonali di soli 10 mm si ottiene un ricentraggio della parete quasi completo.

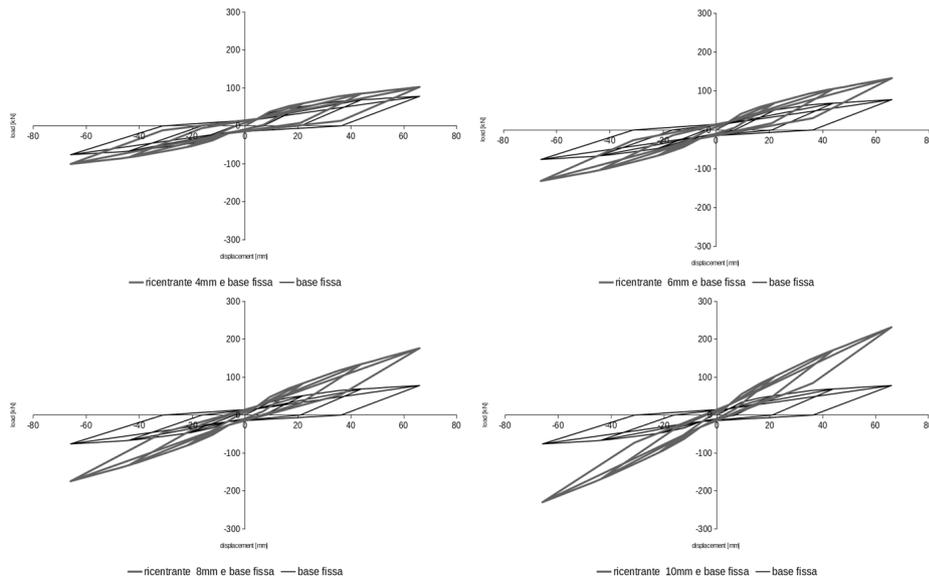


Figura 5: Curve cicliche forza-spostamento del modello numerico della parete con base fissa e diversi diametri di cavi ricentranti

In questo caso, si riscontra inoltre un significativo aumento delle capacità portanti della parete.

## 5.2. Parete con Hold-Down RG senza pre-tensione dei cavi

Successivamente, è stato effettuato lo stesso tipo di analisi riportata al punto 5.1 andando ad utilizzare la parete 2 con l'Hold-Down tipo RG[4]. Dalla risposta, riportata in Figura 6, si può notare come l'effetto ricentrante del sistema diminuisca raggiunta una certa soglia, individuata in questo caso dal diametro del cavo di 8mm. L'aumento della deformazione residua è dovuta al contributo deformativo degli Hold-Down.

Tabella 4: Risultati dell'analisi lineare sul modello di parete 2 con diversi diametri di cavo ricentrante

$\Phi$ [mm]	$\delta_{res}$ [mm]	Forza massima [kN]	Rigidezza [MPa]
no cavi	26.1	70	1848
4	16.2	89	1936
6	14.7	104	2194
8	17.8	113	2401
10	20.9	119	2667

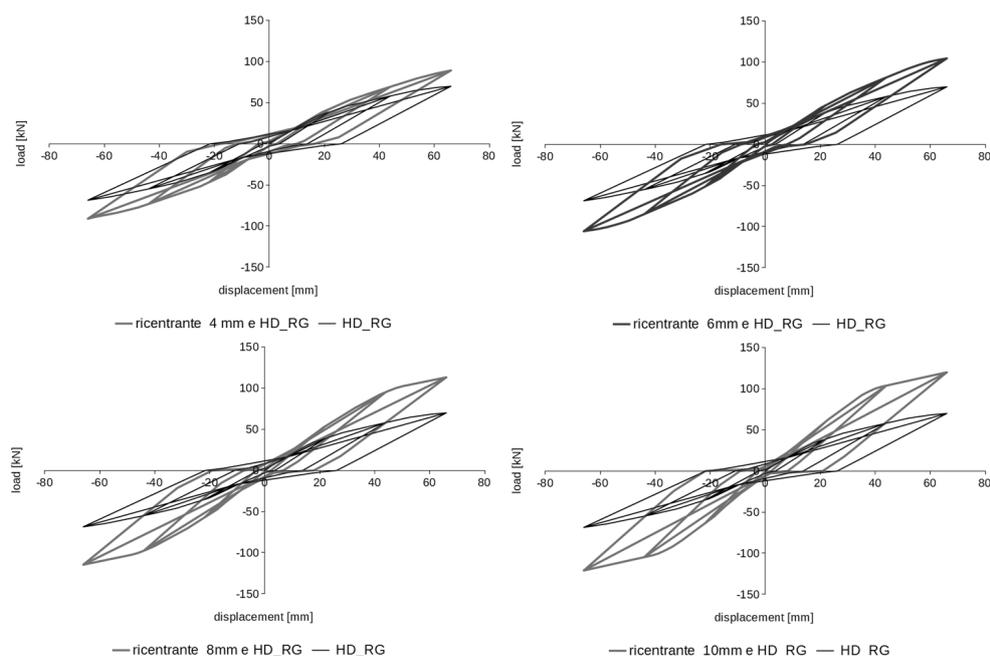


Figura 6: Curve cicliche forza-spostamento del modello numerico della parete 2 con diversi diametri di cavo ricentrante

### 5.3. Parete con pre-tensione dei cavi

Dopo gli studi numerici eseguiti sul modello senza pre-tensione applicata, si è posta l'attenzione sulla configurazione del sistema ricentrante nel caso in cui alle due diagonali sia applicata una pre-tensione  $\Delta P$ . Dal momento che SAP2000 non dispone di un comando per applicare direttamente una pre-tensione, si è deciso di applicare una variazione di temperatura equivalente. Gli elementi diagonali, sottoposti ad un  $\Delta T$  negativo, sono stati caratterizzati da uno stato di pre-tensione pari all'ottanta % della resistenza plastica della diagonale. La forza orizzontale massima  $T$  applicata alla parete deve essere tale da non mandare in compressione nessuna delle due aste pre-tese. Questa forza è data dalla equazione 3, con  $\Delta P$  pari alla forza di pre-tensione dei cavi:

$$T = 2\Delta P \cos \theta \quad (3)$$

Tabella 5: Forza orizzontale massima da applicare alla parete

$\Phi$ [mm]	$\Delta P$ [kN]	$\cos \theta$ [-]	$T$ [kN]
4	40	0.71	57
6	90	0.71	128
8	161	0.71	227
10	251	0.71	355

Una volta stabilito come spostamento target lo spostamento di 25mm, si sono effettuate le analisi cicliche per confrontare il comportamento al variare del diametro dei cavi.

Tabella 6: Valori di taglio massimo e spostamento residuo in relazione diametro dei cavi

$\Phi$ [mm]	$\delta_{res}$ [mm]	$T_{max}$ [kN]
no cavi	14.5	41
4	4.2	57
6	4.3	64
8	4.5	70
10	5.6	76

Dalla Tabella 6, così come dalla Figura 7, si può osservare come gli spostamenti residui in presenza di cavi ricentranti pre-tesi siano sempre trascurabili rispetto al caso in assenza di cavi e la risposta sia a «farfalla».

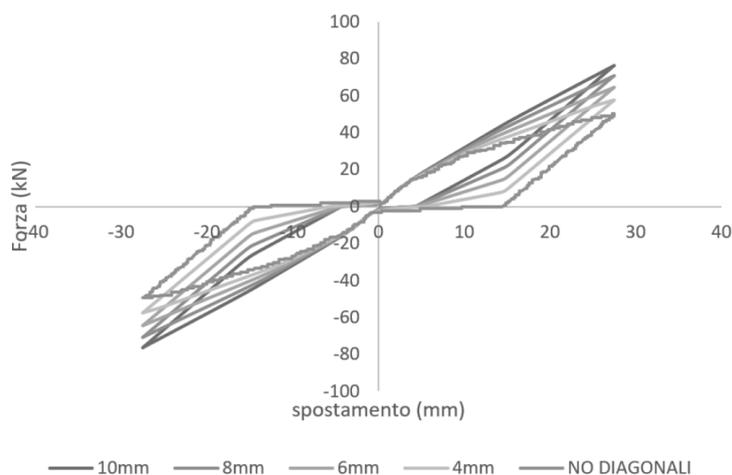


Figura 7: Confronto tra le curve isteretiche di un sistema ricentrante a doppi cavi pre-tesi al variare del diametro dei cavi

## 6. Conclusioni

Il sistema studiato, costituito da una parete di taglio a telaio leggero in legno e da una coppia di diagonali, pre-tese o non pre-tese, ha evidenziato dei risultati promettenti. Oltre a fornire un livello di ricentraggio soddisfacente, questo sistema permette alle pareti stesse di raggiungere un valore di resistenza più elevato. Il confronto tra il sistema con diagonali pre-tese o non suggerisce la prima soluzione come la più conveniente, poiché elimina il problema dell'instabilità della diagonale compressa, che dopo un certo numero di cicli può causare problemi locali, raddoppia la rigidezza e garantisce un ricentraggio superiore all'80%.

Lo studio condotto si è concentrato su analisi numeriche al primo ordine. Al fine di testare ulteriormente la fattibilità e il reale comportamento del sistema, sarà necessario effettuare ulteriori analisi numeriche che tengano conto di eventuali effetti del secondo ordine o a lungo termine. In parallelo sarà fondamentale sviluppare un prototipo di questo sistema ricentrante per poter eseguire una campagna sperimentale che supporti il lavoro analitico e permetta di affinare il modello numerico.

## 7. Bibliografia

- [1]. Ministero delle infrastrutture e dei trasporti. (2018). *Norme tecniche per le costruzioni*.
- [2]. Fragiaco, M., & Jorissen, A. (2011). General notes on ductility in timber structures. *Engineering Structures* 33, 2987–2997.
- [3]. P.Grossi, T.Sartori, & R.Tomasi. (2015). Tests on timber frame walls under in-plane forces: part 1. *Structures and Buildings*, 826-839.
- [4]. R.Tomasi, & T.Sartori. (2013). Mechanical behaviour of connections between wood framed shear walls. *Construction and Building Materials* 44, 682-690.
- [5]. F.Morelli, I.Panzerà, & W.Salvatore. (2018). Ottimizzazione multilivello del miglioramento sismico mediante controventi dissipatori ricentranti.
- [6]. CSI. (2016). CSI Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS, SAFE and CSI-Bridge.

# **Analisi sperimentali su interventi di rinforzo sismico per edifici esistenti in c.a.**

Sofia Gelmetti  
Università degli Studi di Trento  
Trento, Italia





# Analisi sperimentali su interventi di rinforzo sismico per edifici esistenti in c.a.

## 1. Introduzione

Sulla base dei dati forniti dal censimento ISTAT del 2011, le strutture in calcestruzzo armato costituiscono circa il 30% del patrimonio edilizio residenziale italiano. Siccome oltre il 50% di queste è stato realizzato prima del 1980, le modalità costruttive, i materiali e le scelte progettuali che le caratterizzano divergono significativamente da quanto previsto dalle attuali normative tecniche. Molti degli edifici presenti sul territorio nazionale sono infatti stati progettati considerando unicamente i carichi gravitazionali, o in assenza di principi assimilabili a quello della «gerarchia delle resistenze». Inoltre, gli elementi di tamponamento venivano tipicamente tenuti in considerazione unicamente in termini di massa. Tuttavia, numerosi studi in letteratura mostrano che questi elementi hanno la capacità di alterare sensibilmente la risposta complessiva delle strutture [1], [2]. Infatti, possono attivarsi meccanismi torsionali o di piano debole come conseguenza di una distribuzione irregolare in pianta o in elevazione degli elementi di tamponamento [3]. Inoltre, l'interazione sismica tra elementi di tamponamento e strutturali può provocare il collasso di questi ultimi. Ad esempio, la presenza di aperture nelle vicinanze dei pilastri può indurre il collasso fragile (fenomeno del «pilastro tozzo») [4].

La campagna sperimentale condotta si è posta l'obiettivo di valutare l'efficacia di interventi volti alla riduzione della vulnerabilità sismica di telai in c.a. tamponati. Tali interventi sono stati introdotti in [5]-[8], e sono basati sull'uso di pannelli in CLT (*Cross Laminated Timber*). In particolare, le modalità di intervento proposte sono due e si differenziano tra loro per il livello di invasività. La prima tipologia proposta, denominata «RC-TP» (*Reinforced Concrete-Timber Panels*), prevede l'applicazione del pannello in CLT al posto dei paramenti murari esistenti o, in alternativa, solamente di uno di essi. La seconda modalità, definita «RC-TPext» (*Reinforced Concrete-external Timber Panels*) è meno invasiva in quanto non richiede la rimozione dei paramenti murari esistenti, bensì prevede l'applicazione del pannello ligneo all'esterno del telaio.

I test sperimentali sono stati eseguiti su quattro telai isolati ad un piano con caratteristiche meccaniche e geometriche rappresentative del patrimonio esistente italiano. Tali telai sono stati sottoposti a test nel loro piano per mezzo di analisi cicliche quasi-statiche.

A seguire si riportano i test eseguiti:

- Test 0      Telaio nudo
- Test 1      Telaio tamponato in muratura
- Test 2      Intervento RC-TP      Configurazione 1      (pannello CLT da 6 cm)
- Test 3      Intervento RC-TP      Configurazione 2      (pannello CLT da 10 cm)
- Test 4      Intervento RC-TPext      (pannello CLT da 6 cm)

Nel Test 0, il telaio è stato sottoposto a cicli in campo elastico; questo test è stato effettuato per convalidare il sistema di prova e per calibrare i modelli numerici.

I Test dall'1 al 4 sono stati condotti fino al raggiungimento di una condizione di collasso.

## 2. Caratteristiche dei telai analizzati

Come anticipato, sono stati realizzati quattro telai in calcestruzzo armato. Partendo dalla considerazione che nella decade 1971-1980 sono stati realizzati in Italia il maggior numero di edifici in calcestruzzo armato e che in questo stesso periodo si concentra il più elevato numero di costruzioni in stato «mediocre» e «pessimo» (dati e definizioni raccolti dal censimento ISTAT del 2011), i telai sono stati realizzati con proprietà dei materiali, caratteristiche delle armature e geometria rappresentative dell'edilizia residenziale italiana anni '70. Le proprietà dei materiali e la geometria sono le stesse per tutti e quattro i telai. In Figura 2.1 è illustrata una schematizzazione.

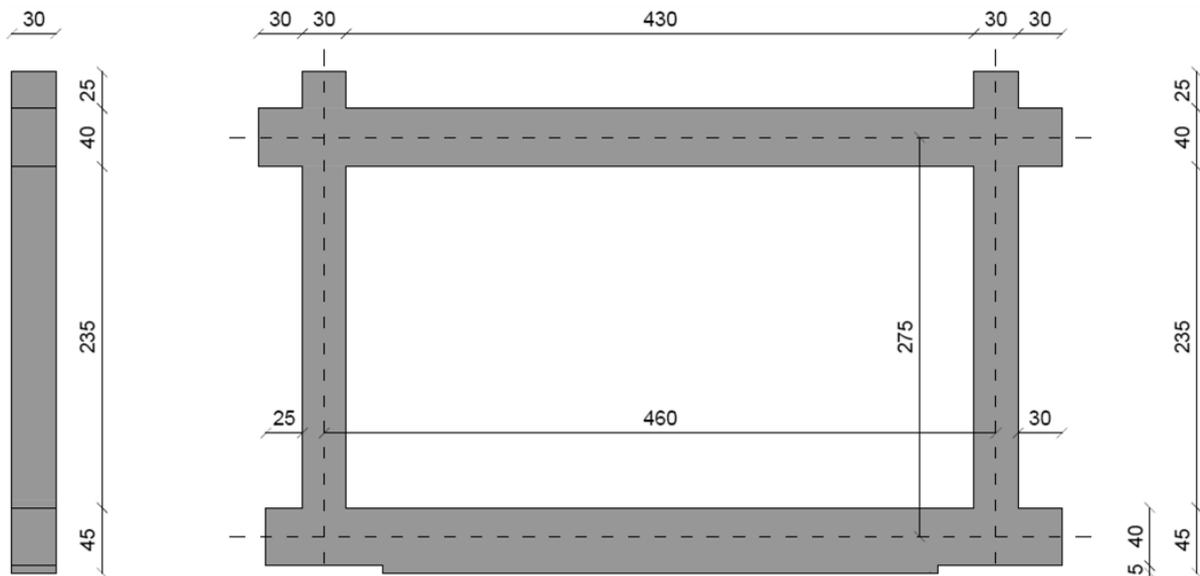


Figura 2.1: Geometria dei telai testati

Per l'esecuzione del Test 1 e del Test 4 sono stati realizzati all'interno dei telai dei tamponamenti in muratura composti da un doppio paramento. In particolare, il paramento «esterno» è realizzato in mattoni pieni, mentre quello «interno» è costituito da laterizio forato. Queste scelte sono state effettuate sempre in linea con la pratica costruttiva dell'epoca considerata.

## 3. Interventi proposti

Negli interventi proposti, il pannello in CLT viene applicato in due modalità diverse a seconda della tipologia di intervento: all'interno del telaio nella soluzione RC-TP (paragrafo 3.1) o all'esterno della maglia del telaio nella modalità RC-TPext (paragrafo 3.2). Il dimensionamento degli interventi è stato effettuato sulla base di modellazioni numeriche eseguite in precedenza dal gruppo di ricerca dell'Università degli Studi di Trento [5-8].

### 3.1. RC-TP

In questa tipologia di intervento il tamponamento in muratura esistente viene sostituito con un pannello CLT collegato per mezzo di un controtelaio in legno. Il collegamento tra controtelaio e telaio in c.a. è realizzato con barre filettate resinare sollecitate a taglio-estrazione. Questa connessione è dimensionata perché rimanga in campo elastico in presenza di azioni sismiche di progetto. Le viti a filetto parziale che collegano pannello CLT e controtelaio sono invece sollecitate prevalentemente a taglio ed hanno una funzione dissipativa (si veda Figura 3.1: Intervento di rinforzo RC-TP. Una separazione di qualche centimetro tra il perimetro del pannello ed il telaio fa sì che il trasferimento di sollecitazione avvenga solamente a mezzo dei connettori metallici.

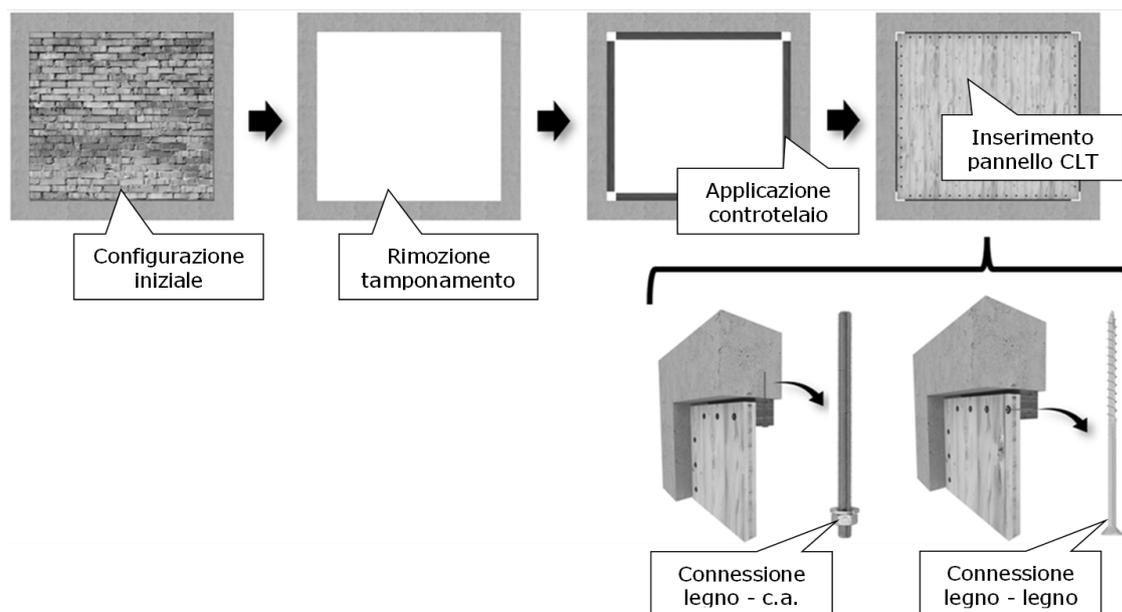


Figura 3.1: Intervento di rinforzo RC-TP

### 3.2. RC-TPext

Questo tipo di intervento prevede il taglio laterale del paramento in muratura e l'applicazione del pannello CLT collegato direttamente al telaio in c.a. Il taglio dei tamponamenti murari ha come fine quello di impedire il trasferimento di taglio addizionale sui pilastri in presenza di azioni orizzontali. Questo trasferimento aggiuntivo di sollecitazioni deriverebbe dal comportamento a puntone compresso del paramento murario. Le connessioni tra pannello in CLT e telaio in c.a. sono costituite da barre filettate resinare e hanno una funzione dissipativa.

Il telaio tamponato soggetto all'intervento RC-TPext è stato realizzato lasciando già in fase di costruzione una spaziatura di 5 cm tra le facce interne dei pilastri ed il paramento murario in mattoni pieni. Per quanto riguarda il paramento interno, data la sua limitata resistenza, non è stata prevista la sua separazione dai pilastri. In Figura 3.2 è illustrato l'intervento di rinforzo in oggetto. Onde evitare il ribaltamento fuori piano dei paramenti, sono stati collegati trasversalmente i paramenti murari tra loro, mediante una connessione resinata. Il tamponamento costituito da blocchi pieni è stato inoltre connesso al pannello in CLT tramite connettori a secco.

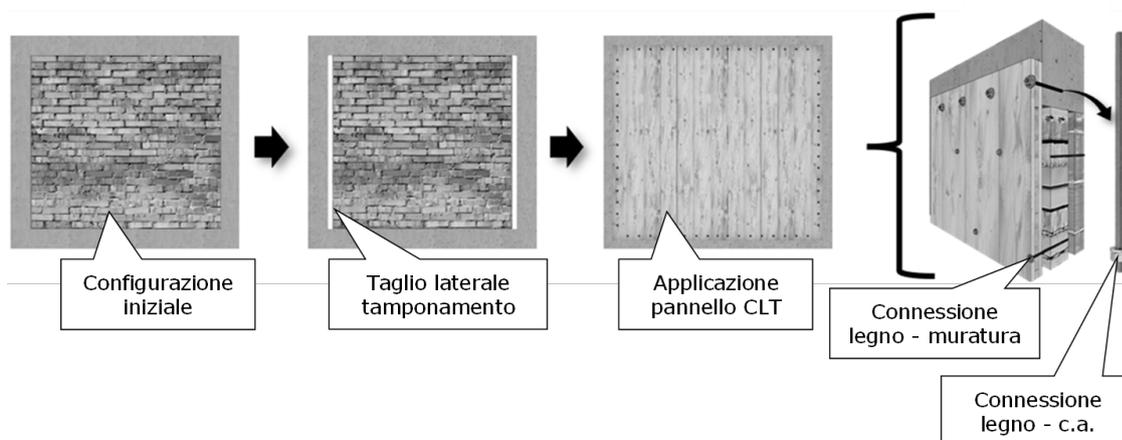


Figura 3.2: Intervento di rinforzo RC-TPext

## 4. Prove complementari

Al fine di caratterizzare i materiali utilizzati ed il comportamento delle connessioni impiegate negli interventi, è stata condotta una campagna di prove complementari.

### 4.1. Calcestruzzo

Per quanto riguarda la caratterizzazione del calcestruzzo, sono state eseguite prove di compressione sia su cubetti standard (Figura 4.1a) che su carote cilindriche prelevate da elementi di dimensioni maggiori al fine di avere un ulteriore riscontro delle proprietà del calcestruzzo (Figura 4.1b). A completamento dei risultati ottenuti, sono state eseguite prove sclerometriche (Figura 4.1c).

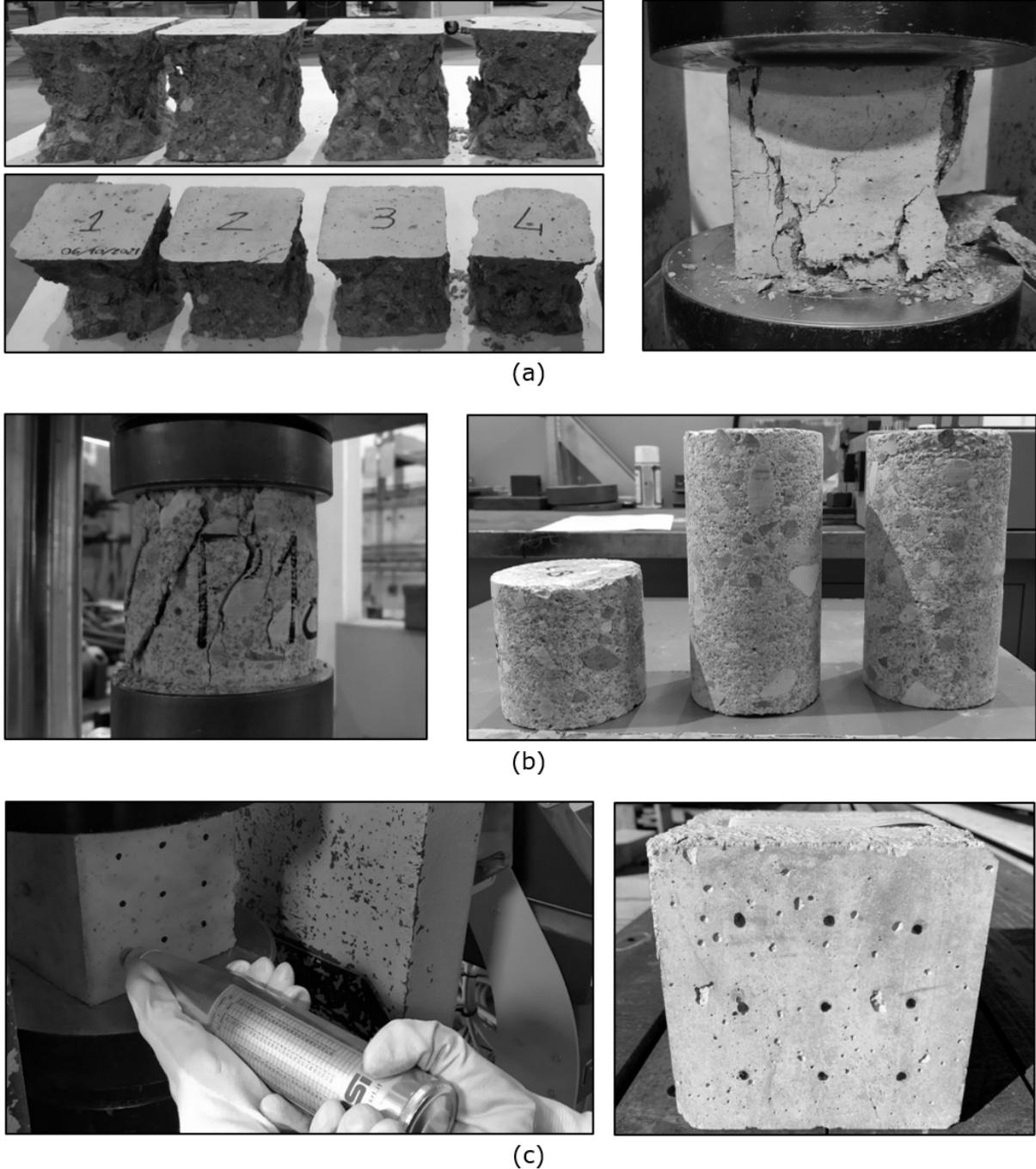


Figura 4.1: Prove complementari – caratterizzazione del calcestruzzo

## 4.2. Acciaio d'armatura

Le barre d'armatura in acciaio sono state sottoposte sia a prove di trazione (Figura 4.2a) che di piegatura (Figura 4.2b).

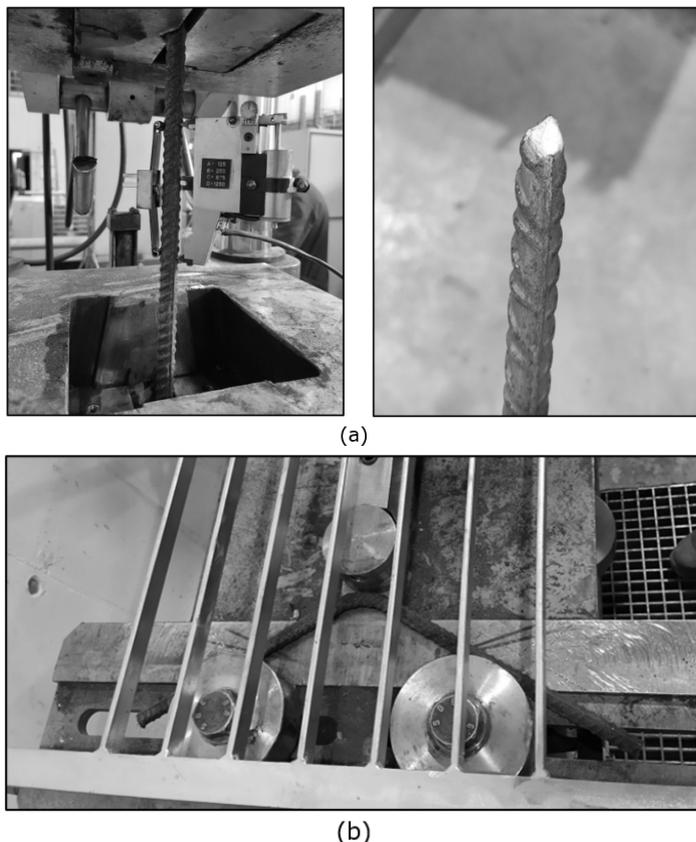
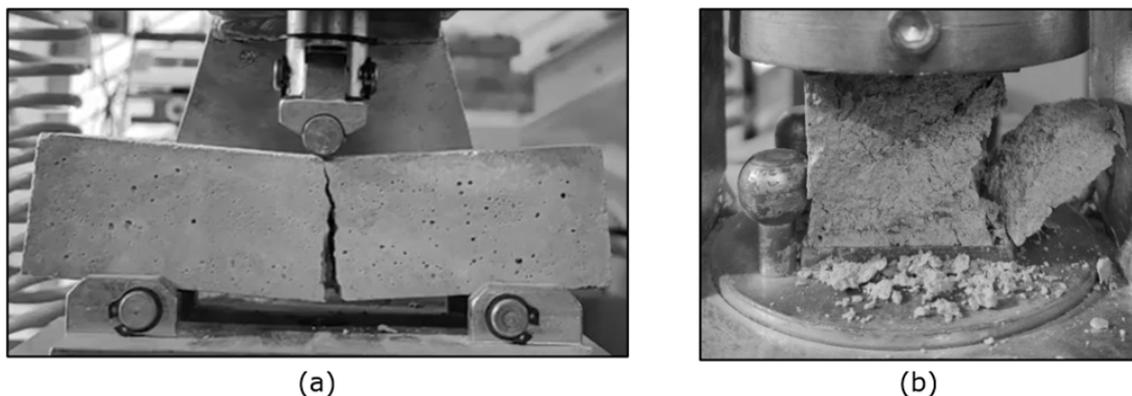


Figura 4.2: Prove complementari – caratterizzazione dell'acciaio

## 4.3. Tamponamenti

Per quanto riguarda la caratterizzazione degli elementi di tamponamento sono stati sottoposti a test sia i singoli elementi (malta, blocchi pieni e forati), sia porzioni di muratura. La malta è stata testata a flessione (Figura 4.3a) e a compressione (Figura 4.3b).

Il test a compressione sui mattoni forati è stato eseguito a sia nella direzione parallela ai fori (Figura 4.3c) che nella direzione ortogonale (Figura 4.3d). La caratterizzazione dei mattoni pieni ha visto la realizzazione di elementi cubici rettificati di dimensioni minori rispetto a quelle del mattone originario (Figura 4.3e). Per completare la procedura di caratterizzazione sono stati sottoposti a prove di compressione diagonale elementi murari di dimensione standardizzata (f).



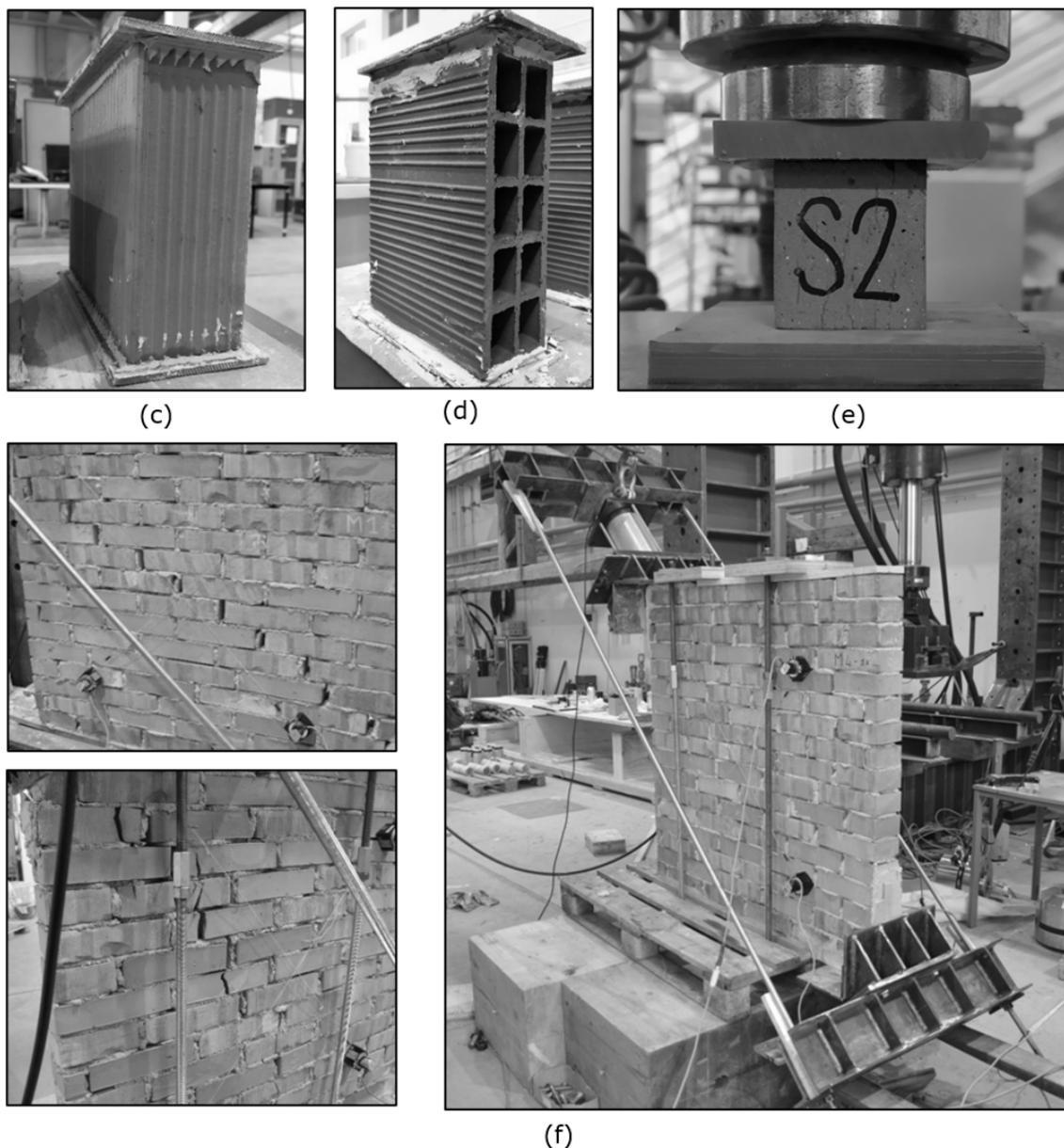


Figura 4.3: Prove complementari – caratterizzazione dei paramenti murari

#### 4.4. Connettori

Come anticipato, le connessioni volte a collegare i pannelli in CLT ai telai in c.a. sono sostanzialmente di due tipi: barre in acciaio filettate e resinare, fissate con dado e rondella per la connessione tra legno – calcestruzzo; viti a filetto parziale per il collegamento legno – legno. Analogamente alla tipologia di sollecitazione per cui le connessioni sono state predisposte nelle soluzioni d'intervento (si veda il capitolo 3), le barre filettate resinare sono state testate ad estrazione (Figura 4.4a) e a taglio (b), mentre le viti parzialmente filettate state testate solamente taglio (Figura 4.4c).

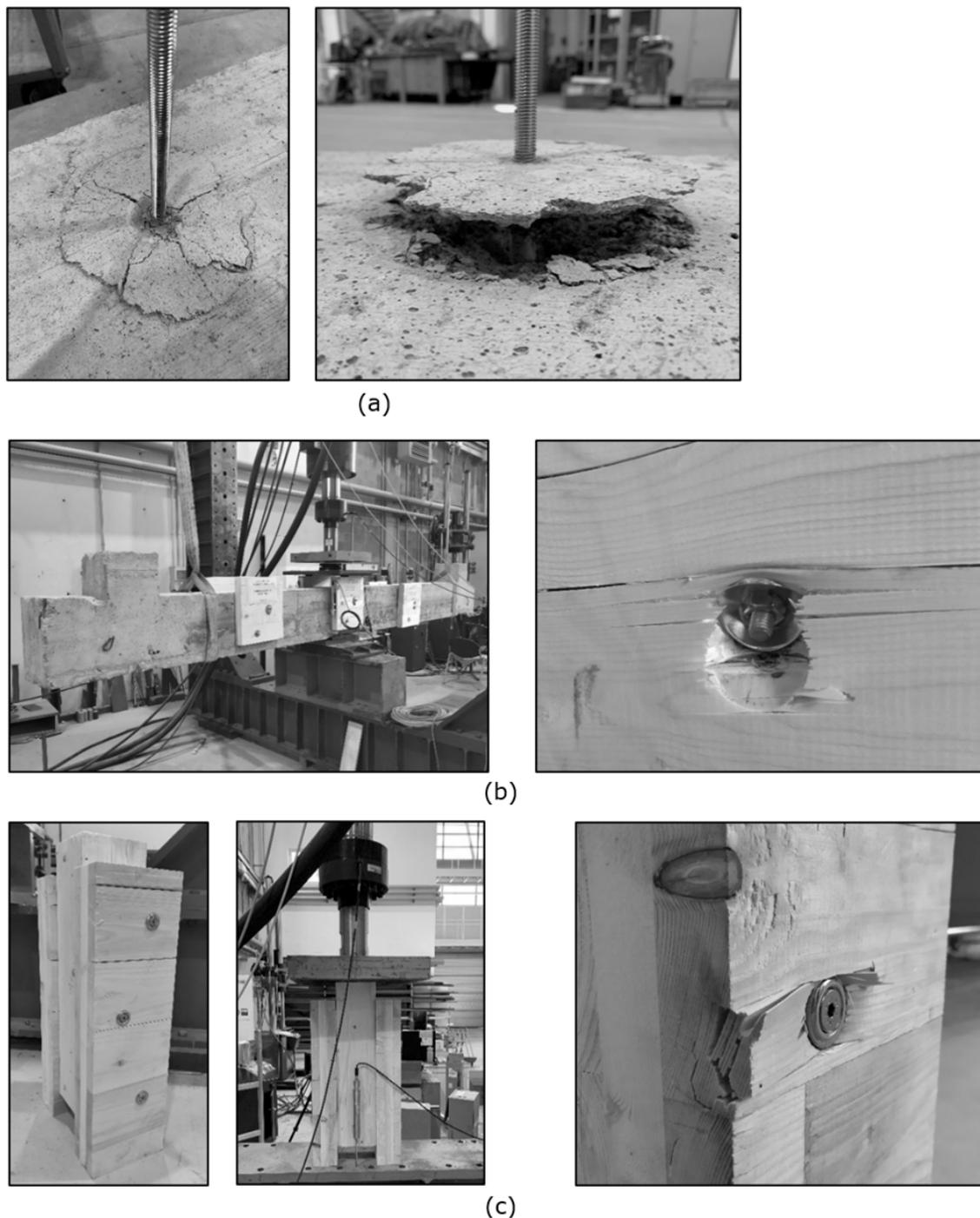


Figura 4.4: Prove complementari – caratterizzazione delle connessioni

## 5. Setup e procedura di prova

Durante i test sono stati applicati carichi verticali costanti su travi e pilastri e una storia di carico orizzontale di natura ciclica a livello della trave superiore.

Il carico verticale sui pilastri è stato applicato mediante barre d'acciaio pretese e la sua entità è pari a 220 kN su ciascun pilastro. Il carico sulle travi corrisponde invece a circa 16 kN/m.

La storia di carico orizzontale è diversa nel caso del Test 0 (telaio nudo testato in campo elastico) rispetto agli altri quattro test: per questo test di partenza sono stati previsti tre cicli in controllo di forza per i due livelli di sollecitazione target (20 e 50 kN). Le altre quattro prove invece sono state condotte in controllo di spostamento, eseguendo tre cicli per ogni livello di spostamento target. La procedura di carico utilizzata nelle quattro prove in controllo di spostamento è illustrata in Figura 5.1.

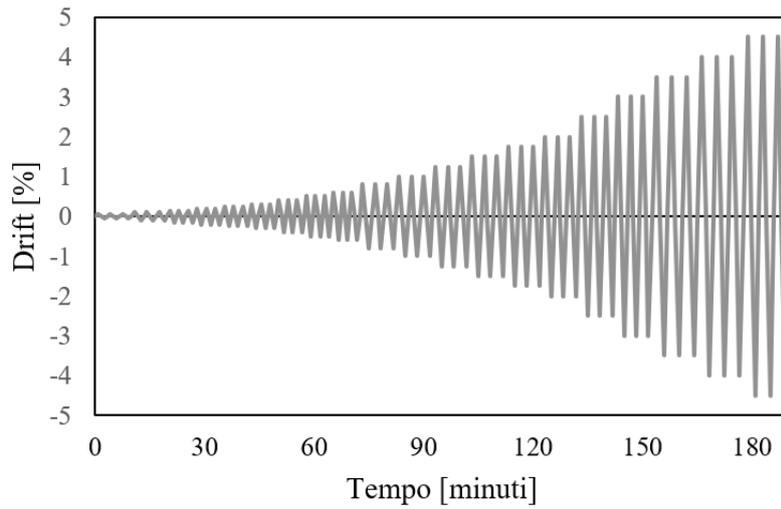


Figura 5.1 Procedura di carico – Drift/tempo

A seguire vengono mostrati i campioni testati nelle cinque prove (Figura 5.2).

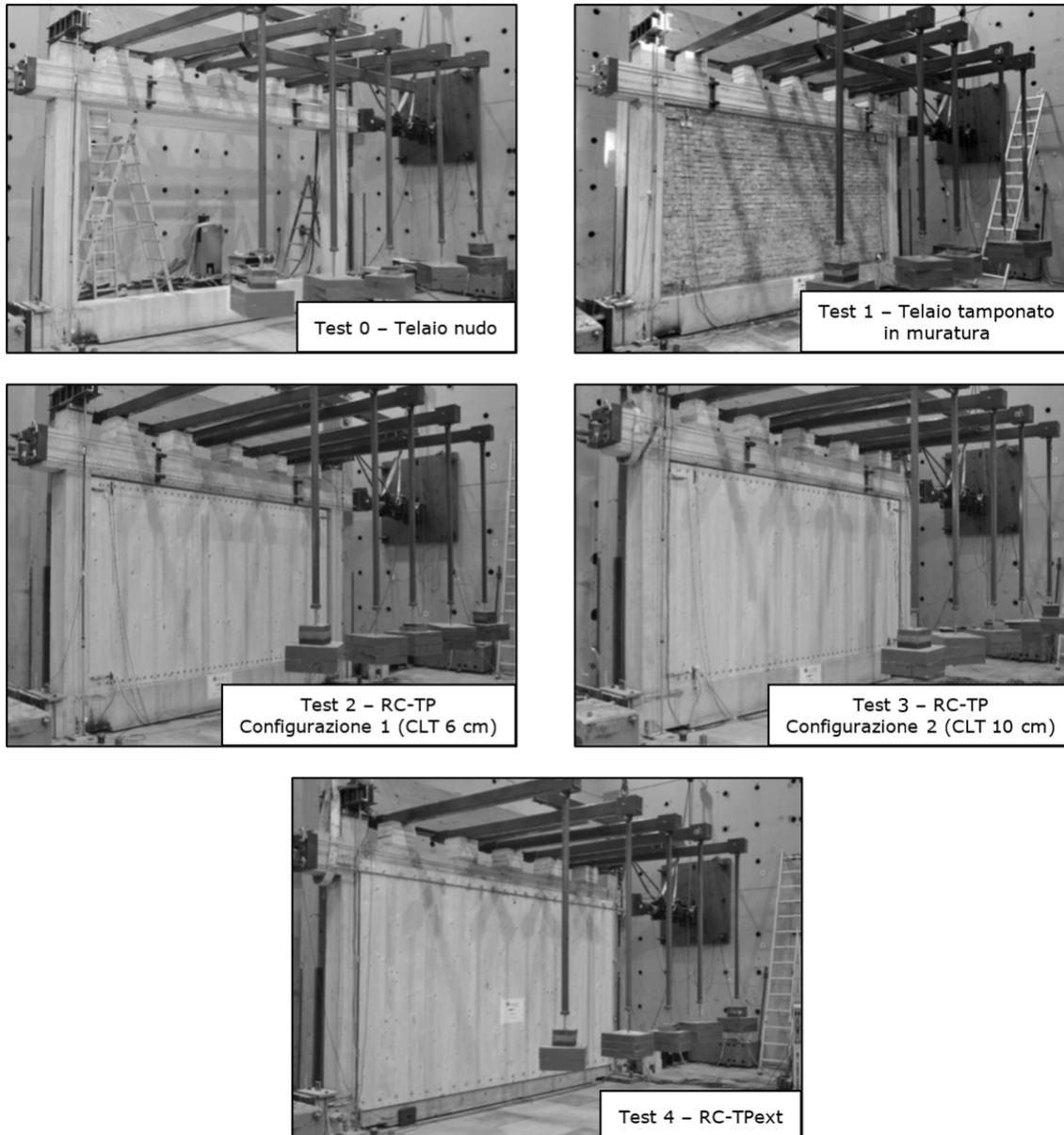


Figura 5.2: Configurazione dei campioni testati

## 6. Risultati sperimentali

Le curve ottenute dalle prove sperimentali sono riportate in Figura 6.1. Osservando i valori di reazione massima raggiunti da ciascun campione, si riscontra come ci sia un miglioramento sensibile della capacità sismica tra il telaio non rinforzato e quelli a cui è stato applicato il rinforzo. Nel grafico, l'asse delle ascisse rappresenta lo spostamento orizzontale monitorato in corrispondenza della trave superiore, mentre l'asse delle ordinate rappresenta la forza impressa dal martinetto.

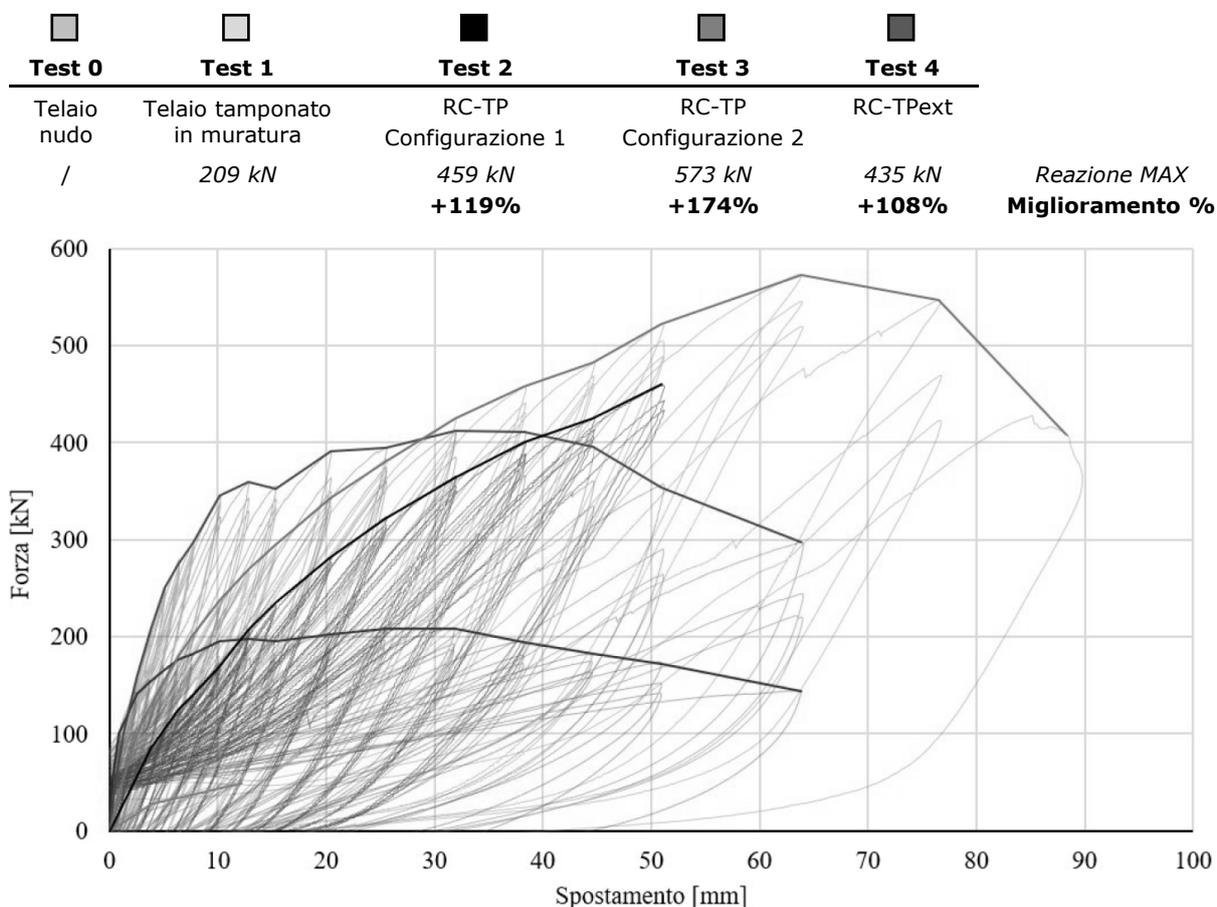


Figura 6.1 Curve ottenute dalle prove sperimentali

### TEST 1 – TELAIO TAMPONATO IN MURATURA

Con il Test 1 si sono potute osservare tutte le criticità della configurazione rappresentativa dell'edificio esistente. Inizialmente, gli elementi in laterizio forato sono arrivati a collasso (Figura 6.2a). Subito a seguire si è osservata la formazione di fessure per taglio lungo i pilastri (Figura 6.2b). Procedendo con i cicli di carico anche il paramento in mattoni pieni ha subito un danneggiamento (Figura 6.2c) e si è sviluppato completamente il collasso per taglio di un pilastro (Figura 6.2d). Nelle fasi finali è avvenuto il ribaltamento fuori piano dell'intero paramento in laterizio forato (Figura 6.2e).

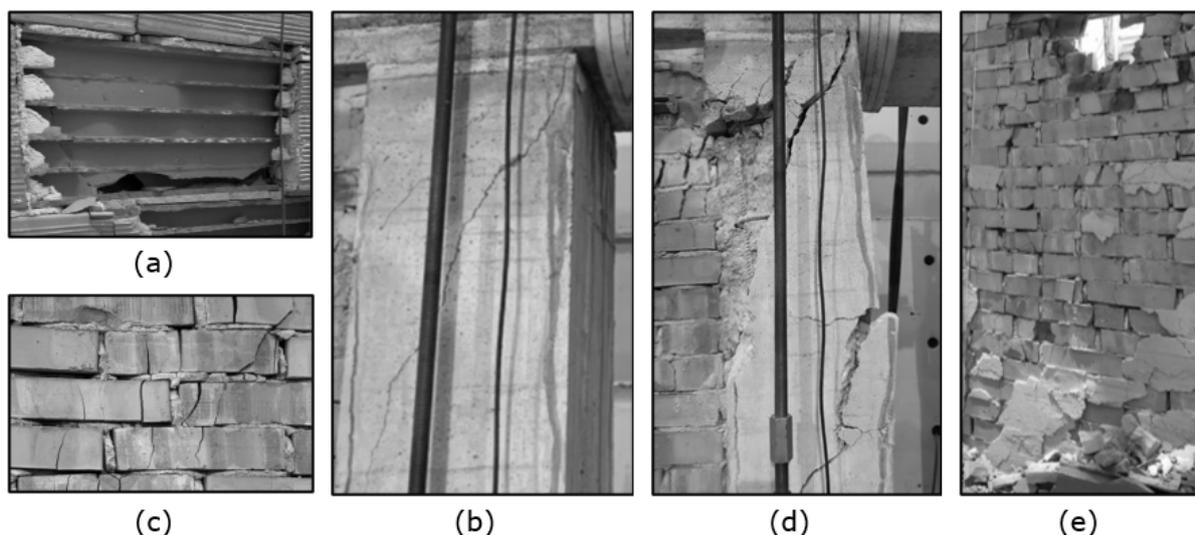


Figura 6.2 Test 1 – Meccanismi di collasso

### TEST 2 – RC-TP CONFIGURAZIONE 1

Il Test 2 prevedeva l'intervento RC-TP nella sua configurazione con il pannello in CLT da 6 cm. Il campione con questo intervento applicato ha mostrato incrementi significativi della capacità portante rispetto alla configurazione rappresentativa dello stato di fatto (Test 1). L'incremento della forza massima applicata è pari al 119%. In seguito a dei danneggiamenti per taglio e flessione (Figura 6.3a), la prova è stata terminata (prima che si raggiungesse l'effettivo collasso strutturale) a causa di rotazioni e spostamenti fuori piano riconducibili alla non completa planarità della base del campione (Figura 6.3b).

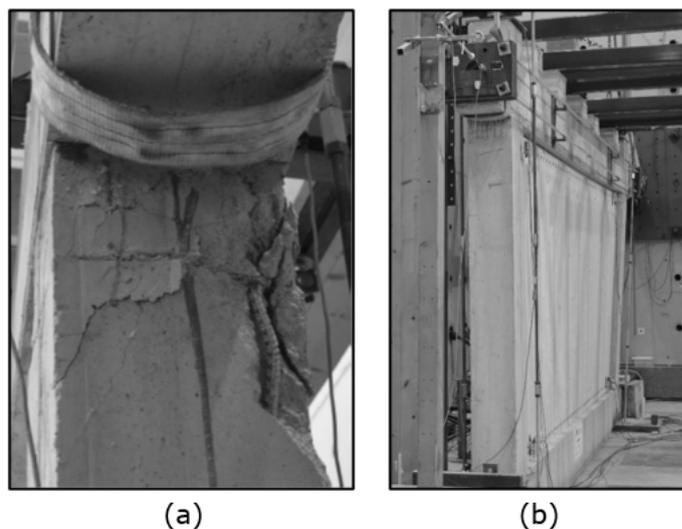


Figura 6.3 Test 2 – Meccanismi di collasso

### TEST 3 – RC-TP CONFIGURAZIONE 2

La seconda configurazione di intervento RC-TP, caratterizzata da pannello in CLT di 10 cm, ha conferito un incremento della capacità portante del 174% rispetto alla configurazione originale (Test 1). Globalmente si è osservato il progressivo snervamento delle connessioni CLT-controtelaio (Figura 6.4a), il rifollamento del legno (Figura 6.4b) e la rottura di parte degli elementi di connessione (Figura 6.4c). Gli elementi in calcestruzzo invece hanno evidenziato la progressiva formazione di fessure flessionali alle estremità dei pilastri (Figura 6.4d). Il contatto diretto tra pannello e telaio, come si osserva in Figura 6.4e, si è verificato in corrispondenza di uno spostamento di circa 70 mm (drift di interpiano del 2,7%). Tale contatto ha portato al trasferimento di azioni aggiuntive sugli elementi in calcestruzzo e di conseguenza al loro danneggiamento (Figura 6.4f).

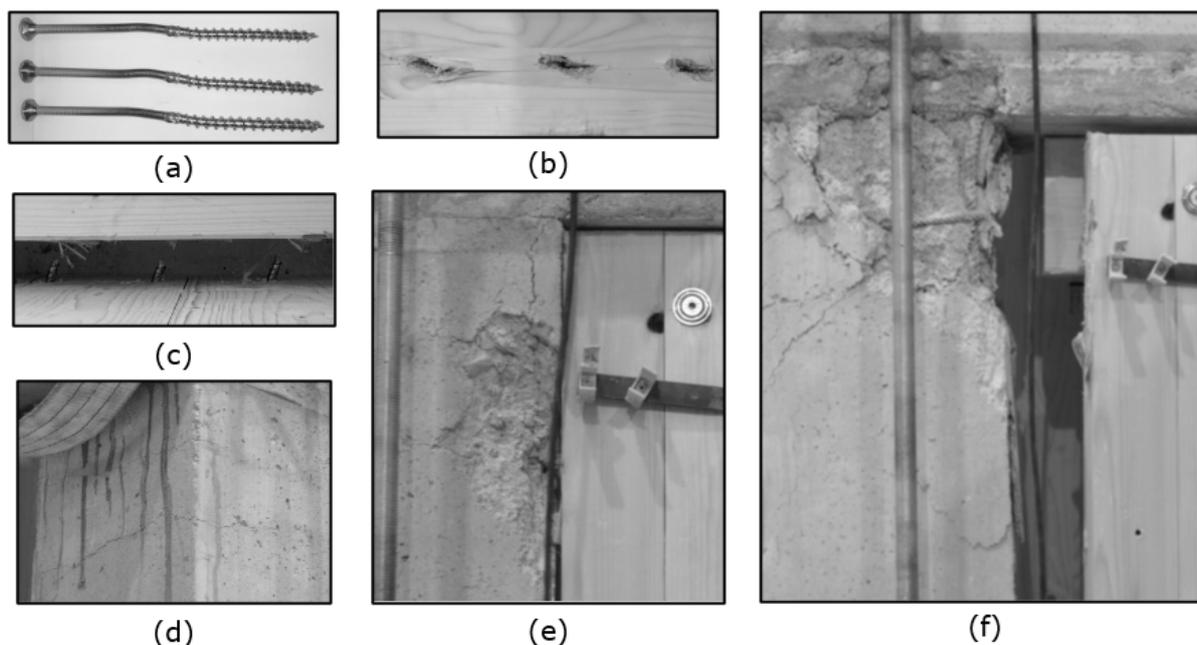


Figura 6.4 Test 3 – Meccanismi di collasso

**TEST 4 – RC-TPext**

Il test finale è stato eseguito sul telaio rinforzato con la configurazione RC-TPext. La presenza dei tamponamenti in muratura ha condotto a rigidzze iniziali simili a quelle osservate nella configurazione allo stato di fatto (Test 1). L'intervento ha però portato ad incrementi della capacità massima del 108%. Benché si sia osservato un progressivo danneggiamento degli elementi in laterizio forato (Figura 6.5a), se confrontato con il comportamento delle pareti di tamponamento nella configurazione iniziale (Test 1) che aveva visto il loro completo ribaltamento (Figura 6.2e), in questo caso non si sono manifestati collassi del tamponamento (Figura 6.5c). Tale miglioramento nel comportamento fuori piano è dovuto alla presenza di collegamenti trasversali tra paramenti murari e pannello in CLT (Figura 6.5b). Gli elementi in calcestruzzo hanno via via manifestato fessure flessionali alle estremità dei pilastri (Figura 6.5d). La perdita di capacità portante finale è dovuta al progressivo collasso delle connessioni CLT-calcestruzzo (Figura 6.5e).

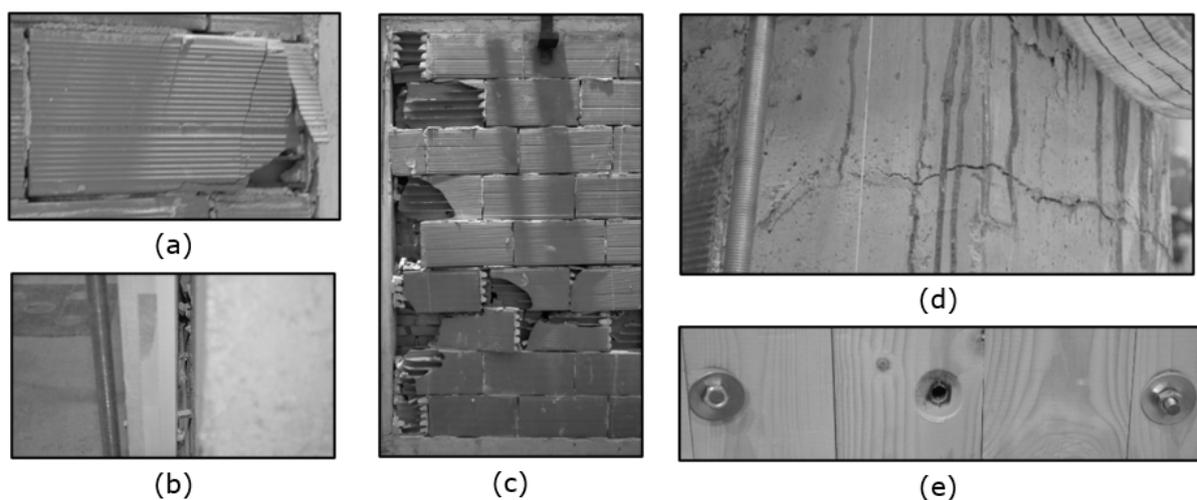


Figura 6.5 Test 4 – Meccanismi di collasso

## 7. Conclusioni

La campagna sperimentale illustrata ha visto la realizzazione di prove cicliche quasi-statiche su quattro telai in calcestruzzo in scala 1:1 rappresentativi del patrimonio edilizio esistente italiano. Come prima prova è stata testata la configurazione allo stato di fatto (telaio tamponato in muratura). Le prove a seguire sono state eseguite su tre diverse configurazioni di intervento. Ciascun telaio è stato portato a collasso mediante cicli di carico e scarico ad ampiezza crescente.

Entrambe le configurazioni di intervento hanno favorito lo sviluppo di meccanismi flessionali. La configurazione di intervento a minore invasività (RC-TPext) ha portato ad incrementi della capacità massima del 108%, mentre la configurazione di intervento a maggiormente invasiva (RC-TP) ha portato ad incrementi del 174%.

Complessivamente, i risultati dei test sperimentali hanno confermato la capacità degli interventi proposti di ridurre la vulnerabilità sismica di telai in calcestruzzo esistenti.

## 8. Riferimenti bibliografici

- [1] Hashemi S. A., 2007. Seismic evaluation of reinforced concrete buildings including effects of masonry infill walls. University of California, Berkeley.
- [2] Gaetani d'Aragona M., Polese M., Di Ludovico M., Prota A., 2018. Seismic vulnerability for RC infilled frames: Simplified evaluation for as-built and retrofitted building typologies. *Buildings*, 8(10), 137.
- [3] Gong M, Zuo Z, Wang X, Lu X, Xie L. Comparing seismic performances of pilotis and bare RC frame structures by shaking table tests. *Eng Struct* 2019;199:109442.
- [4] Çağatay İH, Beklen C, Mosalam KM (2010): Investigation of short column effect of RC buildings. *Computers and Concrete*, Vol. 7, No. 6 (2010) 523-532.
- [5] Smirolfo F., Giongo I., Piazza M., 2021. Use of timber panels to reduce the seismic vulnerability of concrete frame structures. *Engineering Structures*, 244, 112797.
- [6] Smirolfo F., Giongo I., Piazza M., 2020. Seismic retrofit of masonry infilled frames by using timber panels. In 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE 2020, Sendai, Japan.
- [7] Smirolfo F., Viel D., Giongo I., Piazza M., 2021. A numerical study on a timber-based retrofit intervention for masonry infilled concrete frames. In 8th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, COMPDYN 2021, Athens, Greece.
- [8] Smirolfo F., Paviani I., Giongo I., Zanon S., Albatici R., Piazza M., 2021. An integrated approach to improve seismic and energetic behaviour of RC framed buildings using timber panels. *Sustainability*. 2021; 13(20), 11304.

## **Sponsor – Espositori**



Un progetto di

## Una proposta dalla filiera edile per il futuro dell'edilizia e delle professioni

Il progetto Costruire in Qualità è nato 14 anni fa, dalla collaborazione tra ANCE, Ordini e Collegi della Provincia di Verona per supportare il nostro settore, quello dell'edilizia, a migliorare.

Tramite percorsi formativi e altre iniziative il Progetto CQ vuole **diffondere conoscenze** utili per fronteggiare problematiche e sfide del settore, per esempio:

- **Interventi edili** che appena ultimati, o ancor' prima di essere finiti, **hanno già delle criticità: infiltrazioni, crepe, muffe, cedimenti, rumore.**
- **Varianti** che non sono controllabili.
- **Utili di impresa e di studio che si volatizzano** per varianti, rilavorazioni, incomprensioni, movimentazioni.
- **Preparazione tecnica non aggiornata** per scegliere e progettare esecutivamente in modo corretto, completo e nel rispetto della normativa.
- **Preparazione degli operatori non aggiornata** per l'esecuzione di lavorazioni sempre più specialistiche.



Formazione



Pratica



Informazione

[www.costruireinqualita.it](http://www.costruireinqualita.it)

[info@costruireinqualita.it](mailto:info@costruireinqualita.it)

ANCE VERONA COSTRUTTORI EDILI



  
Dicono di noi





## Fornitore completo di prodotti in legno massiccio e soluzioni di costruzione innovative

La nostra completa gamma di prodotti in legno, forniti completi di innovative soluzioni costruttive, permette ai nostri clienti e partners di essere preparati nella costruzione in legno a livello mondiale. La moderna tecnologia CNC ci permette qualsiasi lavorazione dei nostri prodotti secondo progetto. Il reparto Tecnico Vi assisterà dalla pianificazione fino allo sviluppo della costruzione raggiungendo la soluzione ottimale a seconda della destinazione d'uso dell'edificio. Sarete seguiti dai nostri competenti Ingegneri durante tutte queste fasi.

Segati | Prodotti per l'edilizia in legno: X-LAM BBS, Legno lamellare BSH, Pannelli massicci, Legno massiccio da costruzione KVH | Prodotti per il fai da te | Pallet e blocchetti di truciolato compresso | Biocombustibili



**Un pannello.  
Svariate applicazioni.  
Numerose possibilità.**

[www.egger.com/osb3](http://www.egger.com/osb3)

**Su EGGER potete contare – proprio come su questo pannello.**

Siete alla ricerca di un pannello OSB di alta qualità idoneo ad una vasta gamma di applicazioni? Allora optate per EGGER OSB 3 E0. Il suo profilo ottimizzato maschio e femmina, stabile e preciso, consente un'installazione semplice e veloce sorprendendo per la sua elevata robustezza. Grazie ad un incollaggio al 100% privo di formaldeide il pannello è paragonabile, in termini di emissioni, al legno massiccio non trattato.

Maggiore trasparenza:  
-753 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>



**MORE FROM WOOD.**

**E EGGER**

**HASSLACHER  
NORICA TIMBER**

From **wood** to **wonders**.

# qualità & innovazione

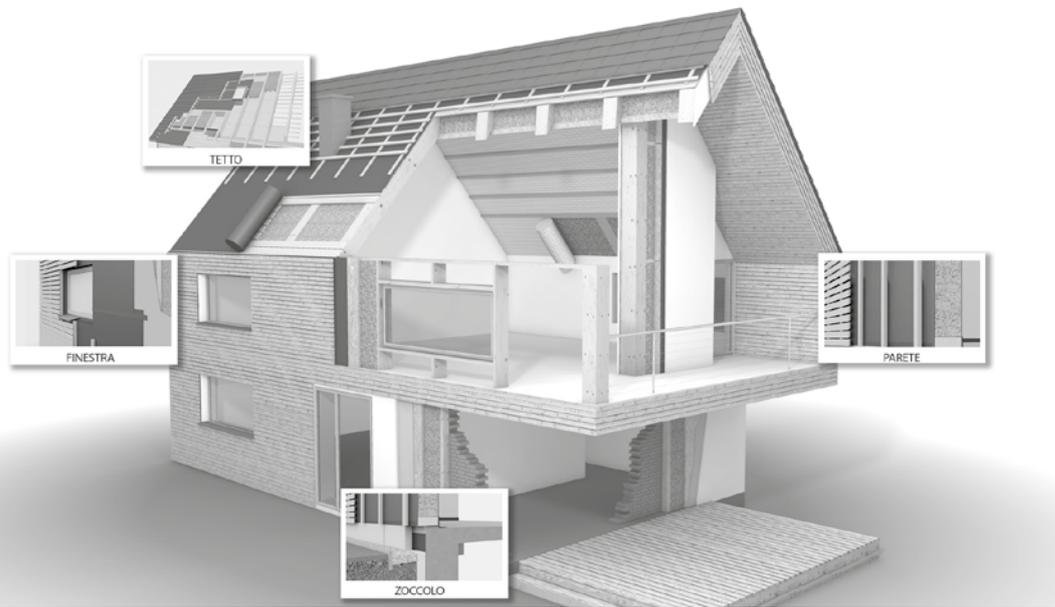
**CONTATTO:**

HASSLACHER group

T +43 4769 22 49-0

info@hasslacher.com

hasslacher.com



ISOCELL GmbH & Co KG

Gewerbestraße 9  
5202 Neumarkt am Wallersee | Österreich  
Tel.: +43 6216 4108 | Fax: +43 6216 7979  
office@isocell.at

## SOLUZIONI DI SISTEMA NELLA COSTRUZIONE IN LEGNO

Da 30 anni ISOCELL offre e sviluppa soluzioni per nuove costruzioni e ristrutturazioni. I prodotti della gamma ISOCELL sono soluzioni perfettamente coordinate per un utilizzo mirato e professionale in tutti i lavori di isolamento e sigillatura.

Coibentare e impermeabilizzare nel sistema non significa: "Disponiamo di un prodotto – ora cerchiamo un problema apposito oppure voi sapete già a cosa vi può servire".

INVECE: „Consigli sulle migliori soluzioni possibili per isolamento, coperture e sistemi di tenuta all'aria con prodotti coordinati".

Nulla è impossibile, non esiste. Questo è anche il motivo per cui molte di queste soluzioni hanno dovuto essere inventate prima per essere possibile.

ISOCELL prende come produttore di isolante in cellulosa e Soffianti in combinazione con il sistema di tenuta all'aria di proprio sviluppo in tutta Europa è unica Posizione di esperti. Attraverso molti anni di know-how e la partecipazione permanente a comitati standard e specializzati e come Partner in progetti di test, istituti di ricerca e Università. ISOCELL sviluppa i suoi prodotti di sistema continuamente ed è sempre all'avanguardia.

I numerosi anni di costante presenza sul mercato hanno reso ISOCELL un partner esperto al 100%.



Troverete il mo-  
tivo per cui la  
cellulosa è il  
materiale iso-  
lante migliore  
qui

[WWW.ISOCELL.COM](http://WWW.ISOCELL.COM)



# Sistemi e soluzioni per le costruzioni in legno

Tecnologie per edifici a elevate prestazioni



FERMACELL® GREENLINE PER  
UNA MIGLIORE QUALITÀ DELL'ARIA



PER STRUTTURE  
A TELAIO O IN X-LAM



RIVESTIMENTI JAMESHARDIE®  
PER FACCIATE BELLE E DURATURE

## Ambienti interni

- Funzione statica delle lastre in gessofibra fermacell® paragonabile ai pannelli a base legno
- Prestazioni certificate per zone sismiche
- Ambienti umidi: fermacell® Powerpanel H<sub>2</sub>O per pareti e soffitti, fermacell® Powerpanel TE per pavimenti

## Facciate

- Protezione dagli agenti atmosferici nelle facciate continue con le lastre in fibrocemento HardieWindbreaker™
- Statica: tamponamento diretto con le lastre per esterni fermacell® Powerpanel HD
- Facciate ventilate durevoli, belle ed economiche con i prodotti in fibrocemento HardiePlank® e HardiePanel®

[WWW.FERMACELL.IT](http://WWW.FERMACELL.IT)

James Hardie Italy · Via Vespucci 47 · 24050 GRASSOBBIO (BG) · [fermacell-it@jameshardie.com](mailto:fermacell-it@jameshardie.com)



# SOLITEX® ADHERO

Membrana con superficie interamente autoadesiva, aperta alla diffusione, per barriera all'aria e protezione dalle intemperie



- ✓ Consente di ottenere l'impermeabilizzazione all'aria su materiali lignei e sottofondi minerali
- ✓ Protezione temporanea durante la fase di costruzione su controsoffitti di costruzioni a più piani in CLT e con intelaiatura di legno
- ✓ Protegge la costruzione: aperto alla diffusione ed estremamente resistente alla pioggia battente
- ✓ Lavorazione facile e sicura
- ✓ Aderisce immediatamente su sottofondi robusti
- ✓ Protezione duratura grazie all'elevatissima resistenza all'invecchiamento e al calore della membrana in TEE
- ✓ Fino a 3 settimane di esposizione agli agenti atmosferici durante la fase di costruzione di solaio

Atossicità certificata secondo  
**ISO 16000**  
Per un'aria interna più sana



internet

# AEROSANA® VISCONN

Barriera all'aria applicabile a spruzzo con valore  $s_d$  igrovariabile



- ✓ Spruzzare con un'apparecchiatura airless o AEROFIXX (aria compressa), ricoprire
- ✓ Per risparmiare tempo e per un'applicazione versatile
- ✓ Costruzioni sicure grazie alle migliori proprietà di aderenza
- ✓ Per elementi edili robusti: dopo l'asciugatura rimane elastica nel tempo e molto resistente
- ✓ Migliora la qualità delle superfici: forma un ponte di tenuta ideale tra sottofondo e rivestimento successivo
- ✓ Intonacabile e verniciabile



Atossicità certificata secondo  
**ISO 16000**  
Per un'aria interna più sana



internet

**Nuovi set di strumenti per le piattaforme Autodesk**  
**hsbcad presenta le novità al Forum internazionale Dell'Edilizia**  
**in Legno 2022**

hsbFloor è completamente integrato nella piattaforma di base hsbDesign per Revit®. Le entità in Revit® possono essere trasformate in lastre con pochi clic, passando dall'approvazione del progetto alla pianificazione della produzione più velocemente.

Dopo un'intensa pianificazione, test e sviluppo, questa estate hsbcad presenta le nuove versioni hsbDesign 25 per Autodesk Revit® e AutoCAD Architecture®.

hsbcad si impegna sempre a sviluppare nuovi strumenti per il settore edile e a migliorare continuamente le proprie soluzioni software. Per

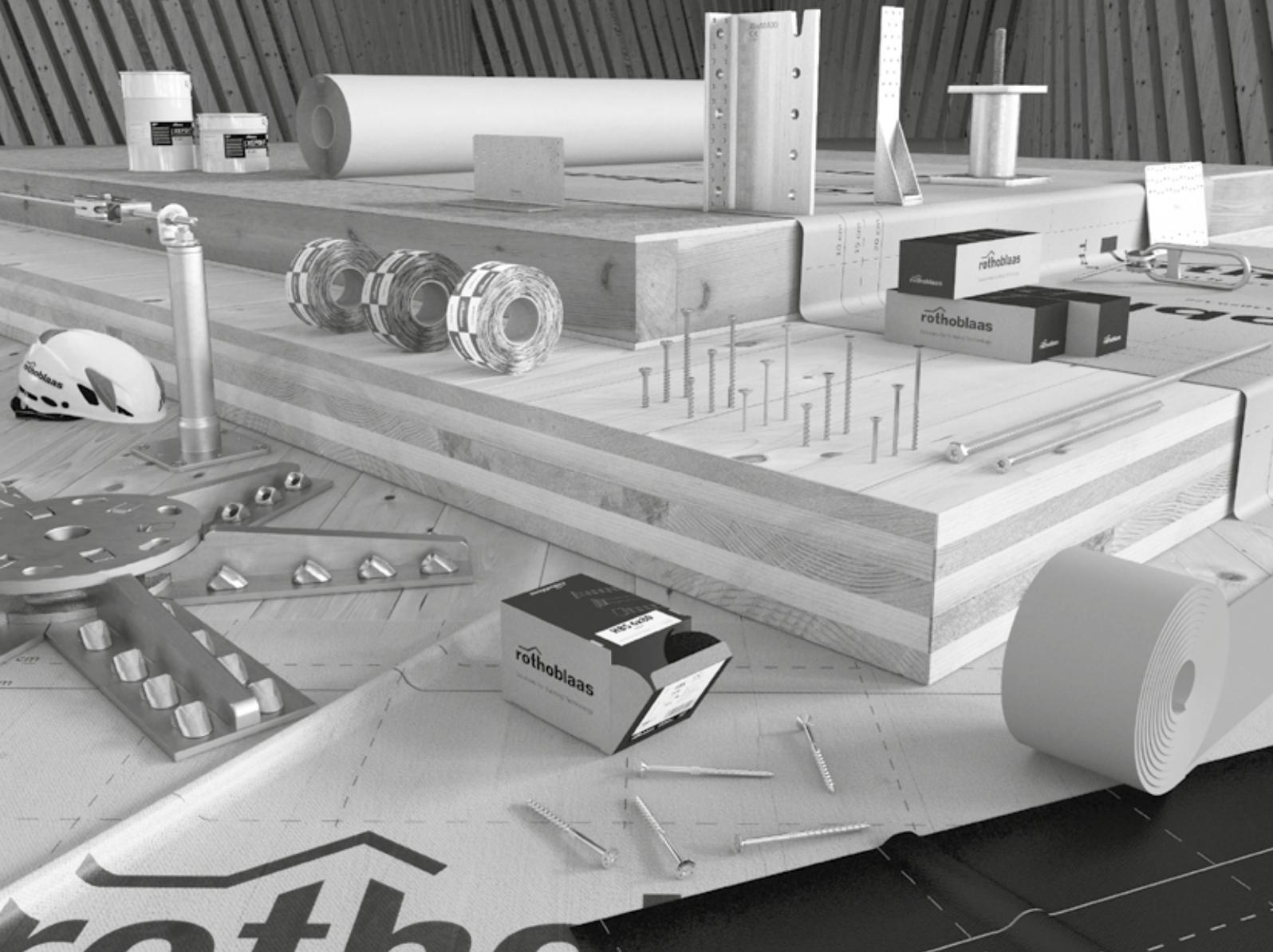
avvicinare gli utenti a una visione BIM completamente realizzata, Autodesk ha sviluppato nuovi set di strumenti per entrambe le piattaforme.

Per conoscere queste nuove funzionalità, nel modo più semplice possibile, gli specialisti CAD/CAM hanno pubblicato diversi articoli sul nostro sito con molti video. I set di strumenti per Autodesk Revit® - hsbFloor è stato sviluppato di recente. Il modo in cui funziona è progettato per funzionare perfettamente con le famiglie standard di Autodesk Revit®. hsbFloor trasforma le famiglie di solai in elementi di solaio con pochi clic.

Chi verrà a trovarci al Forum internazionale Dell'Edilizia in Legno 2022 riceverà molte più informazioni su questa e sulle altre funzionalità di hsbDesign, oltre a una prova gratuita di 30 giorni.



# LA SOLUZIONE GIUSTA PER OGNI ESIGENZA



- FISSAGGIO
- TENUTA ARIA E IMPERMEABILIZZAZIONE
- ACUSTICA
- ANTICADUTA
- MACCHINE E ATTREZZATURA

**Rothoblaas è la multinazionale italiana** che ha fatto dell'innovazione tecnologica la propria mission, diventando in pochi anni punto di riferimento delle tecnologie per costruzioni in legno e per la sicurezza. Grazie alla completezza di gamma e ad una rete vendita capillare e tecnicamente preparata, si è impegnata a trasferire questo know-how a tutti i propri clienti, proponendosi come principale partner per sviluppo e innovazione di prodotti e tecniche costruttive. Tutto questo contribuisce a una nuova cultura del costruire sostenibile, orientata ad aumentare il comfort abitativo e a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Per ulteriori informazioni:  
[www.rothoblaas.it](http://www.rothoblaas.it)



**rothoblaas**

Solutions for Building Technology

# STEICOflex

## L'isolamento climatico



www.steico.com/it

## Isolare naturalmente con fibra di legno

### Edifici come enormi magazzini di carbonio

All'interno della fibra di legno sono immagazzinate enormi quantità di CO<sub>2</sub>. Questo perchè ogni albero durante la sua crescita non rilascia CO<sub>2</sub>, ma ne immagazzina invece grandi quantità. Utilizzando il legno in questa maniera, la CO<sub>2</sub> resta intrappolata. Lo STEICOflex immagazzina ca. 85 kg di CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup>. Questo è molto importante nel bilancio di CO<sub>2</sub> di un edificio.

### Il legno proviene da una silvicoltura sostenibile

Le gestione sostenibile delle foreste collega il risparmio di CO<sub>2</sub> del legno ad una strategia di protezione del clima altamente efficace: i nuovi alberi sostituiscono quelli raccolti e immagazzinano nuovamente CO<sub>2</sub>. Ecco perchè il legno utilizzato per la produzione di STEICOflex 036 proviene esclusivamente da foreste certificate FSC® e PEFC.

### L'alta capacità di assorbire calore protegge dal surriscaldamento

Grazie alla sua elevata capacità di accumulo di calore, STEICOflex protegge l'edificio dal surriscaldamento nelle giornate estive più soleggiate. Il calore infatti penetra nello strato isolante dall'esterno molto più lentamente. Di notte, quando le temperature sono più fresche, la maggior parte del calore immagazzinato defluisce verso l'esterno.

### Protezione dell'edificio

Da un lato, STEICOflex è aperto alla diffusione, dall'altro può assorbire, immagazzinare temporaneamente e rilasciare successivamente molta umidità, senza che la sua capacità isolante si modifichi in modo significativo. Di conseguenza, lo strato isolante e la struttura rimangono asciutti più a lungo, il che garantisce lunga durata all'edificio contro i danni causati dall'umidità.

### Clima ambientale salubre

L'apertura alla diffusione e la capacità di accumulo dell'umidità di STEICOflex bilancia i picchi di umidità nell'aria e favorisce un clima piacevole e salubre. Inoltre, STEICOflex è realizzato con legno di conifere fresco e non contiene additivi nocivi. L'Istituto di Biologia Edile Rosenheim (IBR) li raccomanda.



Per maggiori informazioni



$\lambda_D$  0,036 La più bassa conducibilità termica tra i materiali isolanti naturali

## Tutto in un elemento:



Statica



Isolamento acustico



Resistenza al fuoco



Acustica del locale



Estetica



Isolamento termico



Ecologia

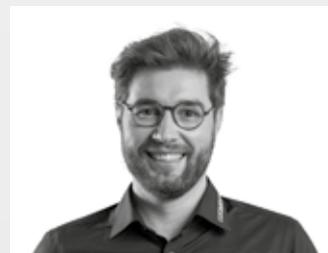


Consulenza competente

## Interessato?

Contatta il nostro team  
consulenza:

+41 71 353 04 10  
[beratung@lignatur.ch](mailto:beratung@lignatur.ch)



Per maggiori informazioni:

[www.lignatur.ch/it](http://www.lignatur.ch/it)



**NUOVO**

# Wetguard®: Membrana trasparente per la protezione dall'umidità di SIGA

**SIGA Wetguard® è la nuova membrana impermeabile completamente autoadesiva che può essere applicata in fabbrica, in prefabbricazione o in cantiere.**

SIGA Wetguard® 200 SA protegge in modo affidabile gli elementi prefabbricati in legno dall'umidità e dai danni durante lo stoccaggio, il trasporto, il montaggio e la fase di costruzione, evitando così danni da umidità come scolorimento nella zona visibile o tensioni e imprecisioni dimensionali dovute al rigonfiamento degli elementi.

## Su Wetguard

SIGA Wetguard è aperta alla diffusione e ha uno speciale rivestimento antiscivolo e impermeabile. La robusta pellicola protegge dai danni meccanici e l'adesivo SIGA ad alte prestazioni applicato su tutta la superficie garantisce un'adesione sicura alle superfici in legno. Con la trasparenza di SIGA Wetguard, non rimangono visibili solo le marcature o le

compenetrazioni effettuate in fabbrica, ma anche la caratteristica struttura superficiale del legno stesso come materiale.

La pellicola protettiva è robusta contro le sollecitazioni meccaniche e rimane antiscivolo anche quando è bagnata. Il supporto dimensionalmente stabile consente una posa semplice, rapida e priva di pieghe e viene immediatamente incollato a tenuta. SIGA Wetguard® è disponibile in tre dimensioni (1560 mm / 780 mm / 390 mm x 50 m). Per applicazioni speciali, è possibile produrre dimensioni e configurazioni diversi in base alle esigenze del cliente.

SIGA Wetguard® garantisce la massima sicurezza durante l'intero processo di costruzione e fa risparmiare all'artigiano ulteriori operazioni e tempo. Questo lo rende l'impermeabilizzante ideale in fase di costruzione, sia per i progetti di costruzione in legno più semplici che per quelli più complessi.

## PASSIONE LEGNO DAL 1926

Da quattro generazioni la nostra famiglia si impegna a coprire tutte le fasi della lavorazione del legno tramite aziende specializzate nei seguenti campi strategici: industria del legno, strutture in legno, grandi progetti chiavi in mano, case in legno e porte in legno. La filiera produttiva di Rubner ad integrazione verticale copre tutte le fasi del processo produttivo, dalla materia prima delle nostre foreste al progetto finito.

Siamo specializzati nel mondo del legno che spazia dalla segheria con tavole e segati, pannelli multistrato in legno massiccio, al legno lamellare o alle complesse strutture in legno lamellare, fino alle porte, alle finestre, alle case e ai grandi progetti in legno chiavi in mano.



Casa residenziale, Chienes



Aeroporto internazionale di Mactan-Cebu, Filippine



Nido d'infanzia Iride, Guastalla



Complesso residenziale „Walden 48“, Berlino



Complesso residenziale Max-Bill-Straße, Monaco





# PABST HOLZ

[www.pabst-holz.com/it](http://www.pabst-holz.com/it)

# LIGNOALP®

Bauen mit Holz

Costruire in legno



## 39 unità abitative in legno, 2 - 4 piani

Committente: Cooperativa "gemeinsam größer II", Monaco di Baviera (D)  
Progetto: agmm Architekten + Stadtplaner con habe Architekten

"Il montaggio degli elementi prefabbricati per pareti è sempre molto affascinante. Dopo una lunga progettazione e numerose rielaborazioni, arriviamo in cantiere e tutto combacia. Un grande elogio alla precisione di LignoAlp."

Markus Borst, agmm Architekten + Stadtplaner

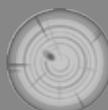
**DAMIANI-HOLZ&KO**



 **HECOEFG**

# FISSARE, ANCORARE, CONNETTERE.

DISTRIBUTORE ESCLUSIVO



**WOOD REPAIR**  
by Boegh Consult

 **HECOEFG**

via Marze, 30 C - 36060 Romano d' Ezzelino (VI)  
Telefono 0424-512111 - Fax 0424-512115  
E-mail: [info@heco.it](mailto:info@heco.it) - <http://www.heco.it>



Abbiamo un **multipiano** in comune: costruire in legno.

## GAMME

Viti strutturali da legno  
ASSY®

Angolari e piastre  
metalliche

Ancoranti chimici  
e meccanici

Membrane e accessori per  
impermeabilizzare e insonorizzare

Linea Vita e DPI

## SERVIZI

Ufficio tecnico e assistenza  
diretta sul campo

Manuali, software di calcolo  
e portale per progettisti

E-Commerce

Mixed Reality, HoloProject  
e Metaverso

Oltre 200 Würth Store  
in Italia

Inquadra il QR Code **per scoprire tutte le nostre gamme e servizi** oppure visita **wuerth.it** per maggiori info.



Seguici sui social per rimanere aggiornato sul mondo Würth!



**Würth Srl**

Via Stazione 51, 39044 - Egna (BZ)



## Soluzioni progettuali di qualità

- 1 Consulenze Energetiche Progettazione**  
Analizziamo e progettiamo nel dettaglio i particolari costruttivi termici e meccanici dell'edificio.
- 2 Label di qualità**  
Affianchiamo progettisti, imprese e privati per l'ottenimento dei label di qualità.
- 3 Consulenze di parte**  
Supportiamo tecnici, imprese e privati nelle valutazioni peritali.



## Gestione del processo edile

- 1 Progettazione integrata**  
Coordiniamo le operatività in modo costruttivo, gestendo tempi e costi.
- 2 Coordinamento progetto/cantiere**  
Supportiamo tecnici e imprese nella gestione del processo progettuale e realizzativo. Individuando soluzioni mirate e adeguate.



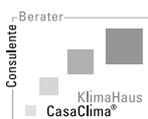
## Formazione di settore

- 1 Percorsi formativi di alto livello**  
Strutturiamo percorsi formativi rivolti a tutti gli attori della filiera edile. In collaborazione con Ordini e Collegi professionali.
- 2 Progetto CQ - Costruire in Qualità**  
Coordiniamo il rinomato progetto CQ - Costruire in Qualità promosso da Ance, Ordini, Collegi professionali, e Associazioni di Provincia di Verona e Varese.

---

Team LineaEcoKlima - Geom. Giuseppe Mosconi

---



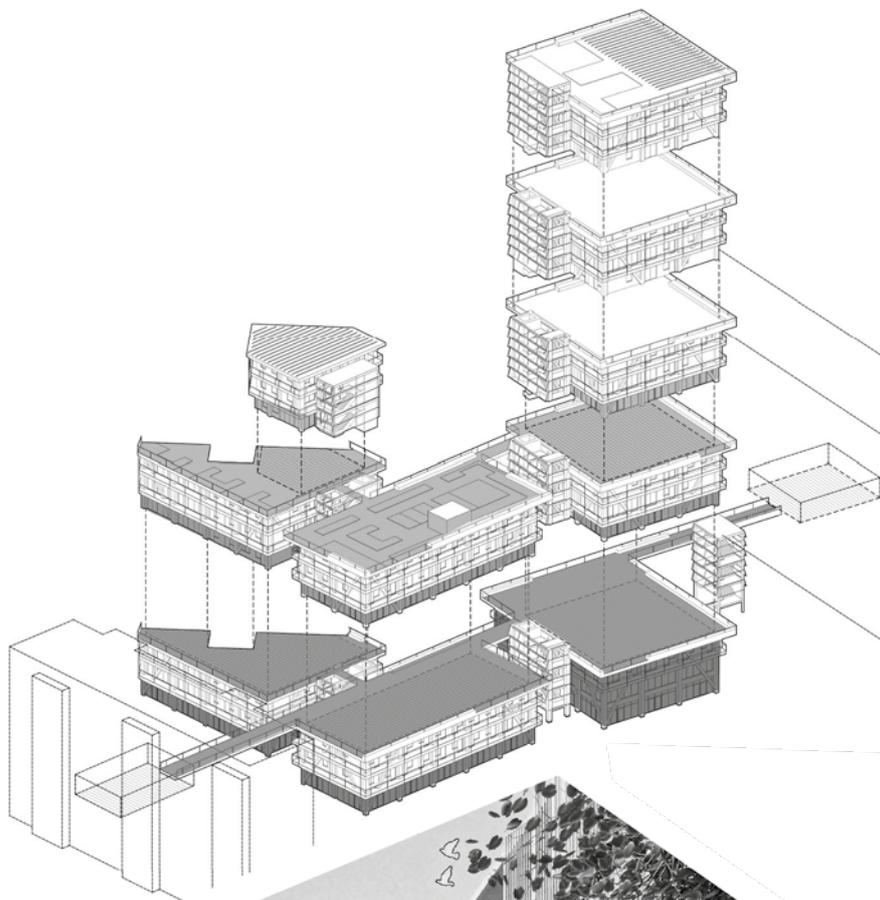
**pro:Holz** An open competition for timber construction  
**student** Munich Berlin Vienna  
**TROPHY 22**

# woodencity

Nella quarta edizione del concorso internazionale per studenti è stato esplorato il potenziale di densificazione con il legno nel tessuto urbano sulla base di tre cantieri a Monaco di Baviera, Berlino e Vienna. Tra 91 progetti presentati, a maggio 2022 sono stati assegnati 3 vincitori, 7 riconoscimenti e 1 premio speciale.

Ulteriori informazioni sul concorso:  
[www.proholz-student-trophy.at](http://www.proholz-student-trophy.at)

La quinta edizione del proHolz Student Trophy partirà nella primavera del 2023 e si concentrerà nuovamente sulla densificazione degli agglomerati urbani utilizzando moderni metodi di costruzione in legno.



tectofix 3000

# PER GLI ESPERTI DELLE COSTRUZIONI IN LEGNO

**Impianto di prefabbricazione per elementi di tetto, solaio e parete**

Campi di applicazione e video su [tectofix.de](http://tectofix.de)

PUOI VISITARE  
**LA NOSTRA PRODUZIONE TUTTO L'ANNO**



## RISPARMIO DI TEMPO

risparmio del 40 % grazie alla prefabbricazione



## BREVE TEMPO DI AMMORTAMENTO

grazie al basso investimento



## ORIENTATO ALLA PRASSI

grazie al maneggio facile



## ECONOMIA DI SPAZIO

possibilità di parcheggiare gli elementi



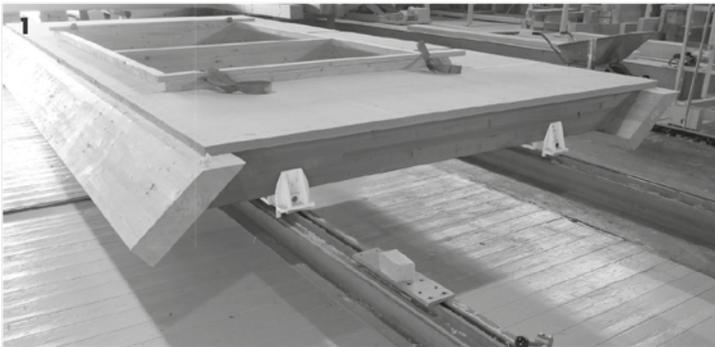
## BG BAU RACCOMANDA

prefabbricazione per maggiore sicurezza

**tectofix**

VOM HOLZBAUER.  
FÜR HOLZBAUER.

[www.tectofix.de](http://www.tectofix.de)



1 / Elemento di tetto con costruzione integrata di montanti e traverse: Sporgenze verticali di arcarecci sono possibili senza difficoltà



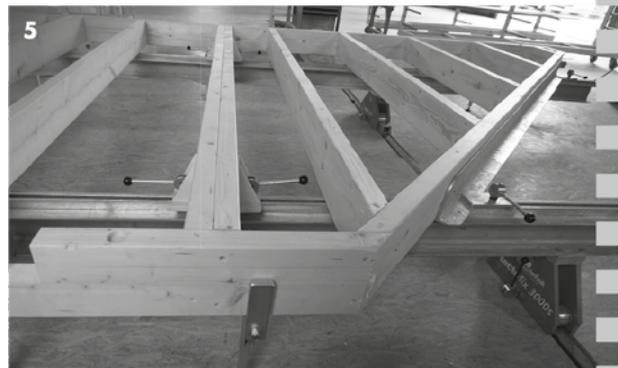
2 / Costruzione di un tetto a vista con colmareccio



3 / Ristorante: solaio alto 40 cm con trave curvata e spazio lasciato per il travicello sull'impianto tectofix 3000



4 / Produzione della parete all'altezza ideale di lavoro: Ergonomicamente piacevole anche durante l'inserzione di travi pesanti grazie all'accessibilità dell'impianto



5 / Elementi di fissaggio inclinati per un timpano

tectofix 3000



Versione trial  
completa e gratuita  
valida **90 giorni**

**Universale**



**Intuitivo**



**Potente**



Scopri il piacere di progettare

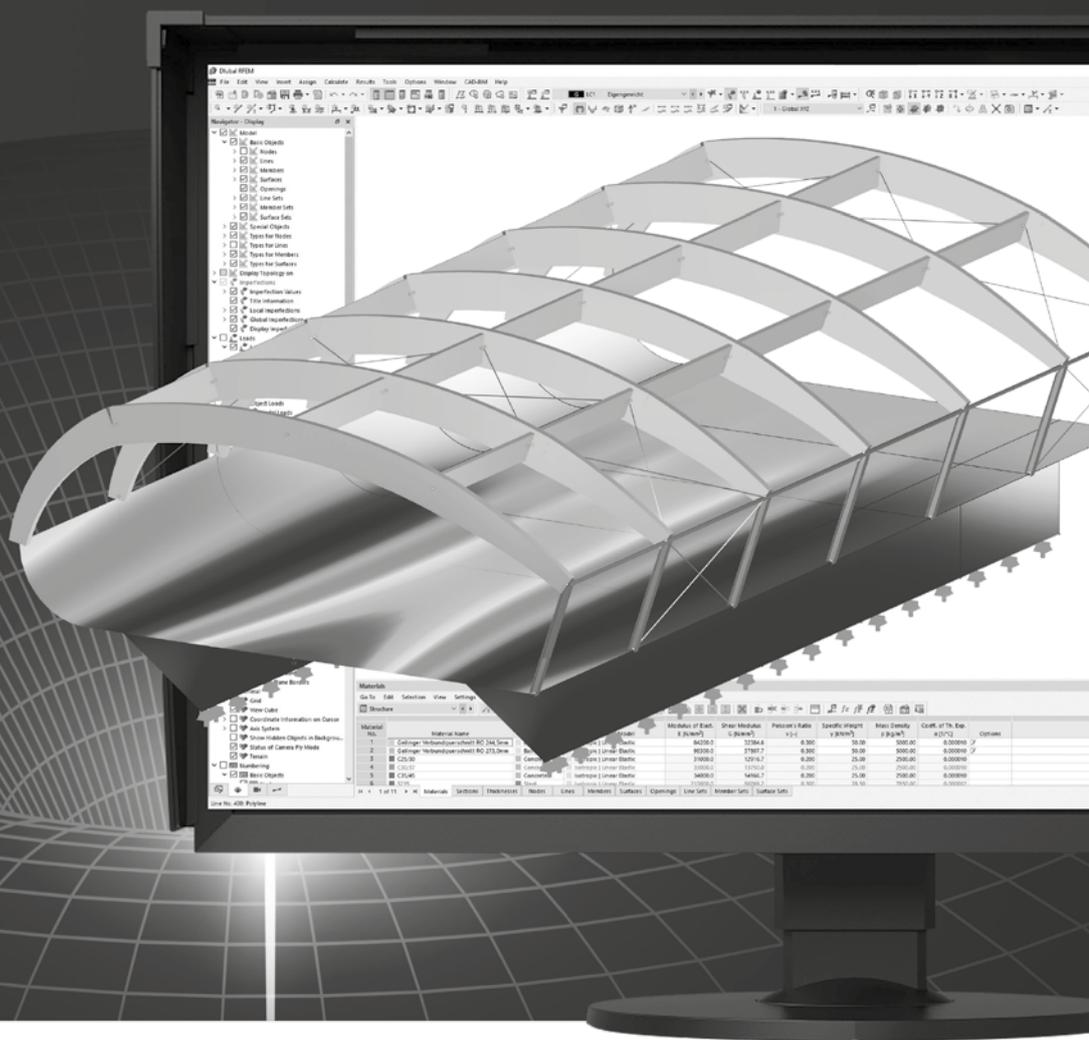
# Software di calcolo di nuova generazione

**RFEM 6**

**RSTAB 9**

**RSECTION**

**RWIND 2**



Software di analisi  
e progettazione strutturale

[www.dlubal.com](http://www.dlubal.com)

# Essetre<sup>®</sup>

WOODWORKING TECHNOLOGY EVOLUTION



Play Video

100% ITALY

## INDUSTRIA

# TECNOLOGIA PER LA LAVORAZIONE DEL LEGNO

## PRODUZIONE AUTOMATIZZATA INTERCONNESSA 4.0



### TECHNO FAST

Centro di lavoro a CN versatile, veloce e compatto per la lavorazione di travi di dimensioni massime 620 h x 250/300 mm e lunghezza configurabile in base alle esigenze del cliente.



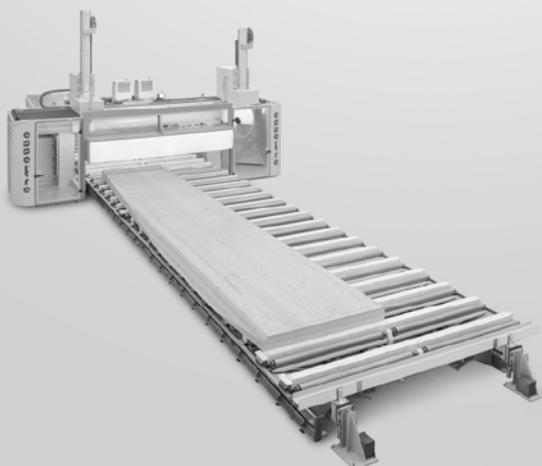
### TECHNO PF 1250 EVO

Centro di lavoro a CN per produrre strutture in legno, tetti, travature e pareti CLT/X-LAM. Dimensioni lavorabili: lunghezza illimitata, larghezza fino a 1250 mm, altezza variabile 300/600 mm in base della configurazione della macchina.



### TECHNO MULTIWALL

Centro di lavoro a CN multifunzionale per la composizione e la lavorazione di pareti a telaio e pareti CLT / X-Lam. Dimensioni max lavorabili 14.400 lunghezza x 3.500 x h 400 mm. A richiesta lunghezze configurabili.



Meglio così...



...o così?



**LIGNUM**<sup>®</sup>

Scopri di più  
su [www.hdg.it](http://www.hdg.it)

Lignum è un marchio di HDG Group S.r.l.



**STRONG FOR GENERATIONS**

**KLIMAS**  
FASTENER TECHNOLOGIES



**NEW MILLING TIP**  
FOR TIMBER  
CONSTRUCTION SCREWS

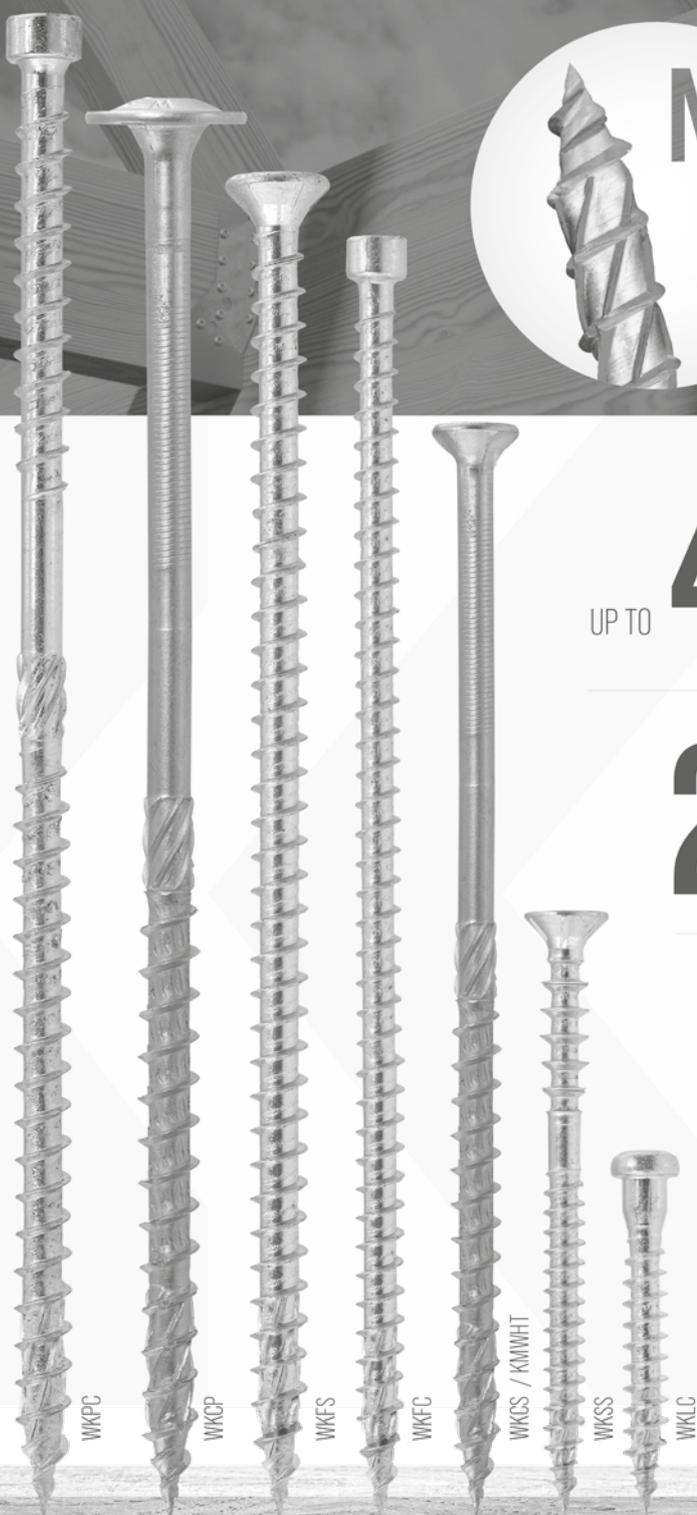
UP TO **40%** **FASTER**  
SCREWING TIME  
compared to old tip of Klimas Wkret-met screws

**20%** **LESS SCREWING**  
RESISTANCE  
compared to old tip of Klimas Wkret-met screws

**DOUBLE THREAD**  
IMPROVE REMARKABLY A SPEED OF  
TIMBER PENETRATION

**HIGH PERFORMANCE**  
PARAMETERS

more at: [www.klimas.com](http://www.klimas.com) | contact us: [export@wkret-met.com](mailto:export@wkret-met.com)



**Wkret-met**  
KLIMAS

**KLIMAS**  
FASTENER TECHNOLOGIES

**POLISH PRODUCER OF TIMBER CONSTRUCTION SCREWS**

# MH® MASSIVHOLZ AUSTRIA – LEGNO MASSICO MH®

Un prodotto di qualità superiore per le costruzioni in legno moderne.

La comunità di produttori MH® MassivHolz Austria si impegna all'utilizzo responsabile e sostenibile di un materiale naturale di elevato pregio qual è il legno.

I prodotti MH® MassivHolz vengono incisi in un unico tronco fuori cuore o almeno a cuore spaccato, rinunciando completamente a giunzioni a pettine, incollamenti o ad altri additivi chimici. Una volta essiccato e classificato in base alla resistenza, il legno massiccio MH® rientra nella qualità di prima classe in fatto di precisione del taglio, per qualsiasi impiego nella costruzione. A seconda dell'applicazione, siamo in grado di fornire diverse superfici (grezzo, calibrate o piallate) così come sezioni e lunghezze personalizzate.

## MH® MassivHolz - Massima qualità in tre varianti

<b>PLUS</b>	<b>FIX</b>	<b>NATURA</b>
taglio a cuore spaccato, essiccato tecnicamente, superficie senza giunzioni a pettine e incollaggio, piallata e smussata	taglio a cuore spaccato, essiccato tecnicamente, senza giunzioni a pettine e incollaggio, superficie calibrata e smussata.	taglio possibilmente fuori cuore, essiccato tecnicamente, superficie grezza, senza giunzioni a pettine e incollaggio.



- essiccato tecnicamente e classificato dopo l'essiccazione
- umidità del legno  $\leq 15 \pm 3 \%$  (NATURA  $\leq 20 \%$ )
- marchio CE secondo norma austriaca ÖNORM EN 14081-1
- categoria di classificazione almeno S10 TS secondo norma austriaca ÖNORM DIN 4074-1
- classe di resistenza almeno C 24 secondo ÖNORM EN 338
- categorie di utilizzo 1, 2 e 3 secondo norma austriaca ÖNORM EN 1995-1
- lunghezze e dimensioni personalizzate; legname da costruzione secondo elenco



## Comunità di produttori MH MassivHolz Austria

Schwarzenbergplatz 4 / AT-1030 Wien

Tel.: +43 1 712 26 01 – 22 / Fax: +43 1 712 26 01 - 19

[www.mh-massivholz.at](http://www.mh-massivholz.at) / [office@mh-massivholz.at](mailto:office@mh-massivholz.at)

# Dall'albero alla costruzione in legno

La varietà di prodotti offerti dalla  
Mayr-Melnhof aprono svariate possibilità.



*Anche nel settore del commercio i criteri ecologici sono molto importanti. Il supermercato SPAR di Frohleiten (AT) è stato realizzato con materiali riciclabili e rinnovabili rispettosi dell'ambiente. Sono stati utilizzati BSP per le pareti ed il solaio e travi Lamellari Masterline per la struttura principale del capannone. La materia prima utilizzata proviene dalle zone limitrofe e solo da boschi certificati PEFC.*

Mayr-Melnhof gode di una lunga tradizione. Nasce più di 170 anni fa a Leoben con la segheria, oggi conta sette sedi sparse in Europa e ricopre il ruolo di una delle aziende leader nel settore delle travi lamellari e della produzione di pannelli BSP-Crosslam. Grazie alle positive caratteristiche e al rispetto dell'ambiente, i prodotti in legno vengono impiegati sempre di più nelle costruzioni. Il ridotto peso specifico rispetto al cemento armato o all'acciaio con uguali funzioni di portata statica permettono una riduzione dei trasporti sul cantiere di costruzione. Grazie all'elevato grado di semi-lavorazione degli elementi in legno, i tempi di costruzione in cantiere si riducono e inquinamento acustico e emissione di poveri sono inferiori rispetto alle costruzioni fatte con materie prime minerali. La struttura in legno permette inoltre un rilevante risparmio vista la maggiore facilità di realizzazione degli impianti interni.

**M**  **M**  
**MAYR MELNHOF HOLZ**

brettspertholz@mm-holz.com • www.mm-holz.com

**MM crosslam**  
pannelli in legno  
lamellare a strati  
incrociati &  
**MM masterline**  
travi in legno  
lamellare

WHERE  
IDEAS  
CAN  
GROW.

# NORDTEX

*For a better living*



...scopri di più sul nostro sito  
[www.nordtex.it](http://www.nordtex.it)



Nordtex Srl, Via Prati all'Ospizio, 6 - 39043 Chiusa (BZ)  
T. 0472 847110 F. 0472 523471 M. 335 48 22 88 E. info@nordtex.it



PRODOTTI PER  
LA COSTRUZIONE  
IN LEGNO



*Segati*



*Travi lamellari*



*Pannelli di legno  
massiccio monostrato  
ed a tre strati*



*XLAM*

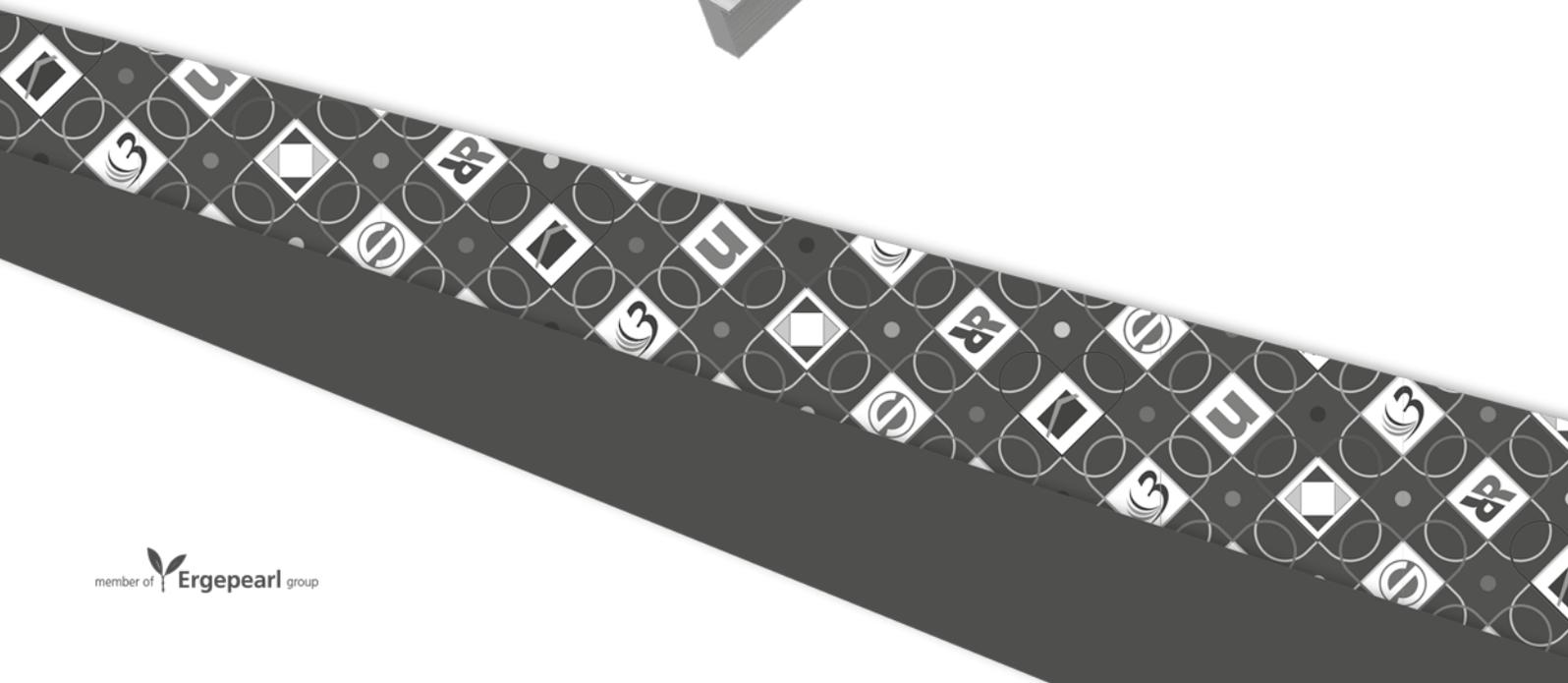
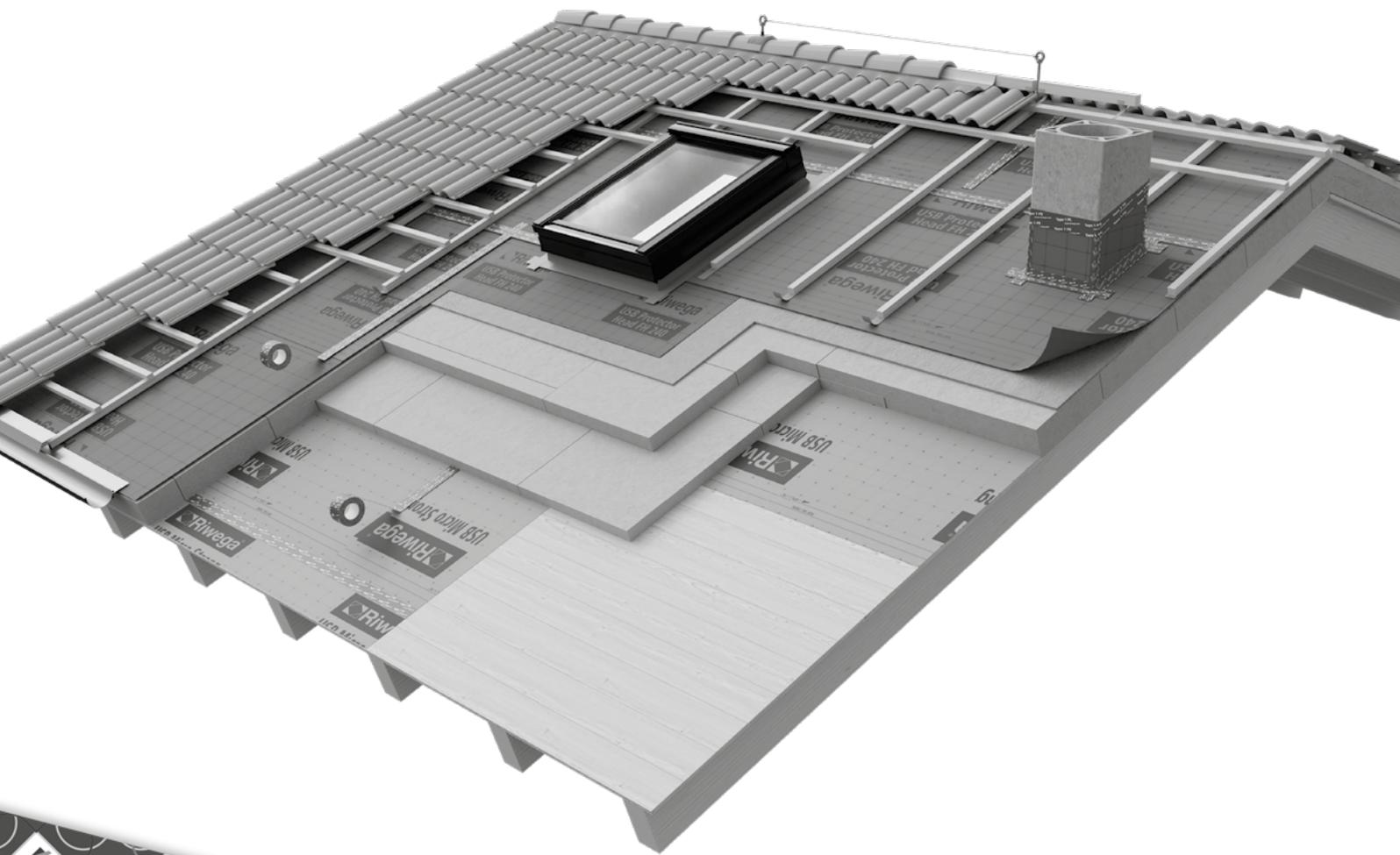
*We connect people,  
nature and technology.  
For better wood solutions.*

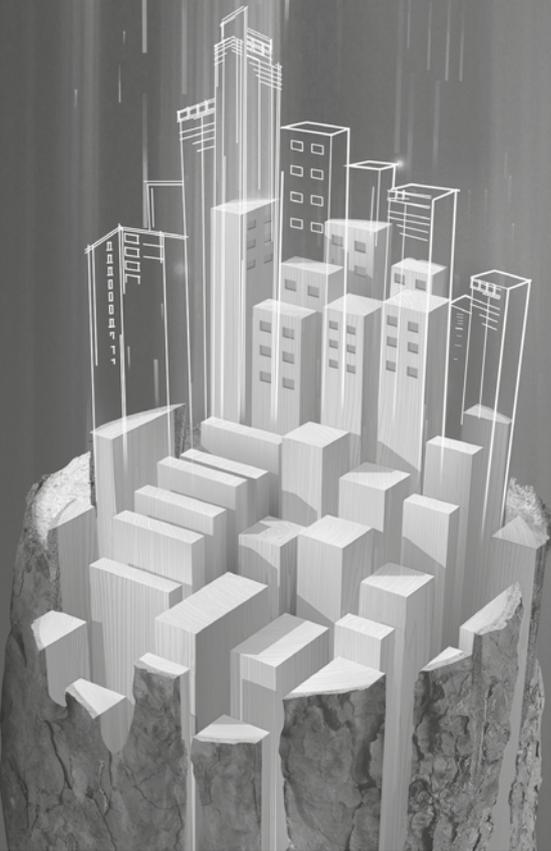
3therm®

Riwega®

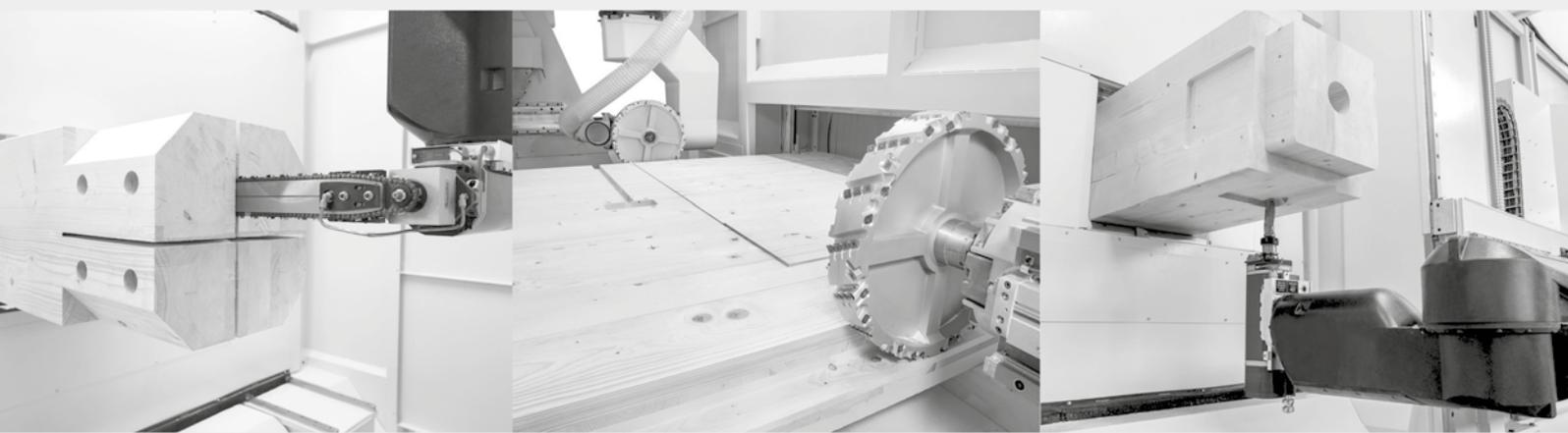
RoofRox®

Il meglio per **tetto e parete!**





# TECNOLOGIA PER L'EDILIZIA IN LEGNO CON RADICI PROFONDE



## CENTRI DI LAVORO CNC PER L'EDILIZIA IN LEGNO: COMPETENZA E INNOVAZIONE

SCM è da 70 anni leader nel campo delle tecnologie per la lavorazione del legno, grazie alla capacità di rinnovarsi in linea con l'evoluzione del mercato.

Da questa combinazione di esperienza e progresso nascono i centri di lavoro CNC di SCM gamma OIKOS, gamma AREA e PMT, dedicati alla produzione di **travi strutturali, elementi parete X-lam/CLT, pareti prefabbricate e pannelli isolanti.**

Soluzioni tecnologiche progettate e prodotte nello stabilimento SCM di Sinalunga (Siena), un centro industriale altamente specializzato di 6.000 m<sup>2</sup>, dove ogni macchina viene sviluppata secondo le esigenze del cliente e le tendenze del settore.

Tecnologia 100% Made in Italy, basata sui valori di competenza e innovazione.

FORUM  
LEGGNO  
EDILIZIA  
ITALIA

[www.scmwood.com](http://www.scmwood.com)

SCOPRI DI PIÙ



  
woodworking technology

  
scm group



**SOLTECH**  
SRL

---

**SOLUZIONI  
TECNICHE  
PER LE  
COSTRUZIONI  
IN LEGNO**

# Innovazione e sostenibilità. Nel nostro DNA.



RAINERI DESIGN

Crediamo nell'innovazione. Progettiamo e realizziamo sistemi costruttivi industrializzati, unici nel proprio genere, dando forma all'edilizia off-site 4.0. Per questo, siamo leader di mercato, un mercato che ci chiede di essere sempre più sostenibili ed evoluti per soddisfare le esigenze di tutti: dell'ambiente, della società, del futuro. Saper ibridare i materiali, spostare le lavorazioni dal cantiere allo stabilimento, garantire la massima sicurezza agli operatori, riutilizzare, essere certificati. È questo il nostro modo di fare edilizia.



**WOODBETON®**

GRUPPO NULLI



  
**HOLZTHURNER**  
SINCE 1968

Commercio e  
Mediazione  
di segati e  
semilavorati

Soluzioni  
complete



Competenza in  
Travi lamellari  
X - Lam  
Bilama / Trilama  
KVH

Pannelli massicci

Pannelli  
multistrato

Pannelli per  
casseforme

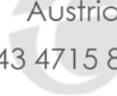
Legno  
impregnato

Segati d'abete  
pino, larice



**Josef Thurner Holz GmbH**  
9640 Kötschach / Mauthen  
Austria

+43 4715 8125

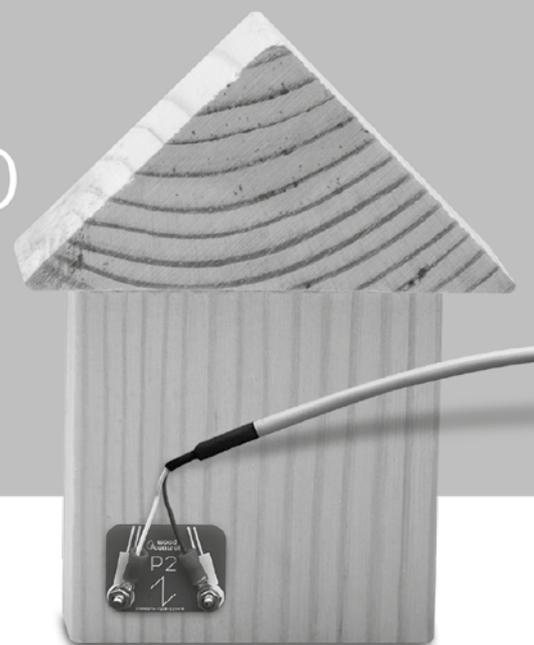
  
**HOLZTHURNER**  
SINCE 1968

[www.thu.at](http://www.thu.at)



Ci sono case in legno  
che affogano in un bicchier d'acqua

Le altre  
hanno installato  
MyMeter



#### UTILIZZABILE PER

- ✓ monitorare in modo permanente l'edificio
- ✓ controllare l'umidità in fase di cantiere
- ✓ verificare il corretto processo di asciugatura in caso di risanamento

#### IDEALE PER MONITORARE

- ✓ singole unità abitative
- ✓ palazzine e edifici multipiano
- ✓ scuole, palestre e edifici pubblici
- ✓ coperture civili e industriali

# MyMeter®

Monitoraggio permanente  
dell'umidità del legno



ATTIVA LA DEMO  
e scopri come funziona



**wood  
control®**  
[www.woodcontrol.eu](http://www.woodcontrol.eu)

# XLAM DOLOMITI

THE WOOD BUILDING R-EVOLUTION

X-LAM DOLOMITI S.R.L. \ Viale Venezia 35 - 38050 Castelnuovo TN - Italy \ T +39 0461 186 5070 \ MAIL info@xlamdolomiti.it \ PEC xlamdolomiti@legaimail.it



FLIPPER

XLAM DOLOMITI: Your partner for your mass timber projects.

Vertrieb FORUM **HOLZBAU**  
Bahnhofplatz 1, 2502 Biel/Bienne, Svizzera  
T +41 32 372 20 00  
info@forum-holzbau.com, www.forum-holzbau.com

ISBN 978-3-906226-47-7