



Sistema costruttivo in legno

A Milano, in via Cenni, su una superficie complessiva di 17mila mq nelle immediate vicinanze della cascina Torrette di Trenno, un'operazione di housing sociale portata avanti da **Polaris Real Estate Sgr Spa** in collaborazione con **Fondazione Housing Sociale (Fhs)**, nell'ambito del **Fondo Immobiliare di Lombardia promosso da Fondazione Cariplo e da Regione Lombardia**, ha consentito di realizzare un **complesso residenziale per 124 alloggi in classe energetica A** che sfrutta al massimo le attuali possibilità costruttive in campo delle costruzioni in legno. I nove piani (corrispon-

denti a circa 27 m di altezza massima) delle torri che ospitano le unità abitative rendono infatti questo complesso uno dei più grandi realizzati a oggi in Europa in ambito residenziale con pannelli a **strati incrociati x-lam**.

Circa 150 proposte sono pervenute per il concorso internazionale di progettazione indetto da Polaris e promosso da Fhs nel 2009. La proposta vincitrice è stata quella dello **Studio Rossi Prodi Associati di Firenze**, che ha organizzato il nuovo insediamento attorno a una grande area pubblica di forma allungata e destinata a parco. Corpi bassi e dallo sviluppo prevalentemente

orizzontale ospitano servizi collettivi, spazi ricreativi e culturali raggiungibili tramite percorsi pedonali comuni, che rappresentano una sorta di reinterpretazione su scala maggiore dei tradizionali ballatoi nelle case a corte. Gli elementi emergenti sono le **quattro torri residenziali da 9 piani** ciascuna, i cui occupanti, individuati attraverso un percorso sociale e di partecipazione, saranno per il **65% al di sotto dei 35 anni di età**. Il **10% degli alloggi verrà affittato a canoni sociali**, il **50% a canoni che vanno da 345 euro per un bilocale a 590 per un trilocale**, e la parte restante tramite una

Nell'intervento di Housing Sociale di via Cenni Milano, la scelta delle tecnologie costruttive e la gestione del processo realizzativo sono avvenute in funzione dell'assoluta necessità di rispettare i costi preventivati (a fronte di prezzi di vendita inferiori al mercato) e i tempi rapidi di esecuzione. La soluzione delle strutture portanti in legno ha dimostrato di possedere tutte le caratteristiche adatte: caratteristiche prestazionali, convenienza tecnica ed economica, laddove il contenimento dei costi di manodopera, dovuti al minor tempo necessario per la costruzione, ha bilanciato i maggiori costi di industrializzazione e trasporto del materiale.

IL CANTIERE

«CENNI DI CAMBIAMENTO» – NUOVO COMPLESSO DI HOUSING SOCIALE

Collocazione geografica: via Cenni, Milano

Committente e gestore:

Polaris Real Estate Sgr spa (in nome e per conto del Fondo Immobiliare di Lombardia)

Promotore: Fondazione Housing Sociale

Ati imprese esecutrici: Carron spa e Service Legno srl

Progettazione definitiva: Tekne spa (Direzione lavori e coordinamento generale: arch. Michele D'Ambrosio – Progetto strutture in c.a.: ing. Umberto Biscottini – Progetto Impianti: ing. Giovanni Chiesa – Piano di sicurezza e coordinamento: arch. Alberto Tinelli); Rossiprodi Associati srl (progettazione architettonica – prof. arch. Fabrizio Rossi Prodi, arch. Simone P. G. Abbado, arch. Marco Zucconi); Borlini & Zanini sa (progettazione strutture in legno: prof. ing. Andrea Bernasconi, ing. Cristina Zanini Barzaghi, ing. Maria Rosaria Pes)

Progettazione esecutiva: Ets Spa (Direttore tecnico: ing. Giambattista Parietti – Responsabile della progettazione: ing. Marco Bergami – Progetto impianti: ing. Enrico Facchinetti – Progetto strutture in c.a.: ing. Giampiero Locatelli)

Progettazione esecutiva strutture x-lam – prima fase: Lignaconsult srl (Direttore tecnico: ing. arch. Thomas Schrentewein – Progetto strutture in legno: ing. Michele Girardi)

Progettazione esecutiva strutture x-lam – completamento e adeguamento progetto esecutivo: Borlini & Zanini sa

Direzione dei lavori e coordinamento generale: Tekne spa – arch. Michele D'Ambrosio

Produzione pannelli Clt: StoraEnso

Distribuzione pannelli Clt: MakHolz

Consulenza geotecnica: Geotecnica Croce srl – ing. Umberto Croce

Consulenza geologica: Studio geologico tecnico ambientale – dott. Andrea Valente Arnaldi

Tecnico acustico: Lce srl – dott. Claudio Costa

IL COMMITTENTE E GESTORE

Polaris Real Estate è una società di gestione del risparmio dedicata a investitori istituzionali, i cui soci fondatori sono Fondazione Cariplo, Cassa italiana previdenza e assistenza dei geometri liberi professionisti e Fondazione Cassa di Forlì. Gli interventi realizzati dalla società puntano a risolvere l'emergenza abitativa ponendo sul mercato appartamenti a prezzi di vendita e affitto calmierati. Oltre al Fondo immobiliare di Lombardia, Polaris gestisce i quattro fondi Parma Social house, Abitare sostenibile piemonte, Fondo Emilia Romagna Social housing e Fondo housing Toscana, con oltre trenta interventi in corso di realizzazione nelle diverse regioni.

IL PROMOTORE

La Fondazione Housing Sociale si costituisce nel giugno 2004 per volontà della Fondazione Cariplo con la Regione Lombardia e Anci Lombardia con la missione di sperimentare soluzioni innovative per il finanziamento, la realizzazione e la gestione di iniziative di edilizia sociale promuovendo i valori della sussidiarietà, del pluralismo e dell'auto-organizzazione. Tra i progetti di social housing in corso vi sono «Maisondu monde36», in via Padova a Milano, il Borgo Sostenibile a Figino, l'iniziativa di «Casacrema+» in località Sabbioni e il complesso residenziale «Abitiamo insieme Ascoli».

LA ATI

Carron Cav. Angelo spa è un'impresa fondata nel 1962 a San Zenone degli Ezzelini (Treviso) da Angelo Carron. Attualmente guidata dal figlio Diego, affiancato dalle sorelle, l'azienda, che ha 200 dipendenti e un portafoglio lavori complessivo superiore ai 481 milioni di euro, è attiva sul territorio nazionale nell'ambito di infrastrutture, edilizia civile, industriale, residenziale, restauri e riqualificazioni. Tra i lavori più significativi figurano l'ampliamento dell'aeroporto di Bologna, la recente costruzione del Centro commerciale Le Terrazze a La Spezia e quella del nuovo quartier generale Diesel a Breganze (Vicenza).

Service Legno è un'azienda che realizza edifici e coperture in legno su misura per residenze unifamiliari e plurifamiliari. All'esperienza maturata in quindici anni di attività, con la realizzazione di oltre 2 milioni mq di coperture e grandi strutture e oltre 300 unità abitative, si è aggiunta negli ultimi anni quella in progetti di housing sociale, che consente all'azienda di offrire tramite il suo staff tecnico consulenza, progettazione, realizzazione e montaggio a una clientela di privati, investitori o imprese edili tradizionali.

LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE IN C.A.

Tekne spa è una società di ingegneria, architettura tecnica e construction management di Milano con uno staff di circa 40 persone, fondata dalla famiglia Rusconi-Clerici, attiva dal 1875 nel campo dell'ingegneria. Operando in certificazione di qualità, la società fornisce numerosi servizi tecnici e negli ultimi dieci anni ha svolto lavori di coordinamento, progettazione e direzione lavori per un valore complessivo di 1,5 miliardi di euro, collaborando con architetti di spicco, tra i quali Renzo Piano, Richard Meier e Cesar Pelli.

LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE X-LAM (PRIMA FASE)

Lignaconsult Schrentewein & Partner srl, società di ingegneria che fornisce servizi di consulenza per costruzioni in legno e fisica tecnica applicata, nasce nel 2002 a Bolzano dallo studio fondato nel 1995 dall'ing. arch. Thomas Schrentewein, docente per la formazione dei maestri carpentieri dal 1997, fondatore nel 1998 del marchio di qualità «Südtiroler Holzhaus» e relatore per i corsi CasaClima dal 2003. L'attività della Lignaconsult comprende più di 600 progetti di strutture in legno realizzate in tutta Italia e all'estero.

LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE X-LAM (COMPLETAMENTO E ADEGUAMENTO PROGETTO ESECUTIVO)

Borlini & Zanini sa è uno studio d'ingegneria civile attivo dal 1997 nel campo dell'ingegneria strutturale, della prevenzione incendi e del genio civile, con un'attenzione particolare per le strutture in legno e il dialogo con l'architettura, sia nell'ambito di concorsi che di team interdisciplinari. I lavori più recenti includono la progettazione della struttura in legno di una residenza da 6 piani in pannelli x-lam a Cassarate, Lugano e il progetto esecutivo delle strutture in calcestruzzo del Teatro Nazionale di Astana, Kazakhstan.

LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA

Ets spa Engineering and Technical Services è una società di ingegneria operante da oltre vent'anni tramite unità operative specializzate nel settore della progettazione e della direzione dei lavori, per una committenza sia privata che pubblica. Gli incarichi recenti includono la progettazione e la direzione dei lavori dell'ospedale «Papa Giovanni XXIII» di Bergamo, la progettazione di edifici antisismici dopo il terremoto a L'Aquila e in Emilia e quella dell'autostrada Pedemontana Lombarda. Negli ultimi anni la società ha esteso il proprio ambito operativo a Cina, India, Africa e in particolare Medio Oriente.



formula di affitto con patto di futuro acquisto. Agli inquilini verrà data la possibilità di gestire gli spazi comuni e di organizzare attività collaborative con l'aiuto e il contributo di un gestore sociale e della proprietà.

LA VIA DELL'HOUSING SOCIALE

L'area di via Cenni è stata aggiudicata dal Comune di Milano tramite avviso pubblico nel dicembre del 2008 al Fondo Immobiliare di Lombardia, un fondo chiuso di investimento riservato a investitori istituzionali e rivolto al mercato abitativo con una prevalenza nell'ambito territoriale lombardo.

La vocazione del Fondo è quella di realizzare interventi abitativi di housing sociale attraverso la collaborazione con il settore no profit e con la Pubblica amministrazione, praticando canoni di locazione al di sotto degli standard di mercato. La normale complessità che caratterizza un'iniziativa di questa dimensione viene così ulteriormente elevata a causa dell'assoluta necessità di **rispettare i costi preventivati a fronte di prezzi di vendita inferiori al mercato.**

Si inserisce in quest'ottica la scelta di puntare sulla tecnologia x-lam per tutti i piani realizzati fuori terra, limitando sostanzialmente l'impiego del c.a. al parcheggio interrato e al solaio del piano terra.

Nell'intento di individuare sistemi costruttivi in grado di coniugare elevati standard abitativi, tecnologici ed energetici a costi di realizzo e gestione contenuti, l'area sviluppo immobiliare di Polaris ha costituito un gruppo di lavoro formato da progettisti, docenti e ricercatori universitari esperti in tecnologie costruttive e gestione del **processo realizzativo**, ai quali è stato dato il compito di individuare, esaminare e valutare nuovi sistemi costruttivi, verificandone caratteristiche prestazionali, convenienza tecnica ed economica. La soluzione delle strutture portanti in legno ha dimostrato di possedere tutte le caratteristiche adatte, consentendo di ottenere un risparmio sia dalla riduzione degli spessori di materiali isolanti che dal contenimento dei costi di manodopera dovuti al minor tempo necessario per la costruzione, che vanno a bilanciare i maggiori costi di industrializzazione e trasporto del materiale. Altro fattore importante è la certezza dei costi, dato che la programmazione delle opere e degli approvvigionamenti dei materiali necessari al processo esecutivo non consentono grandi scostamenti dagli importi preventivati.

L'ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

Assegnati alla Ati trevigiana formata dalle **aziende Carron spa (opere edili) e Service Legno srl (strutture in legno)**, i lavori sono iniziati il 26 gennaio 2012 e le strutture sono

ormai giunte alla fase conclusiva. Tre addetti alla sicurezza (affidata, come la direzione lavori, alla società **Tekne spa**) si alternano in sito in modo continuativo.

I tempi complessivi di realizzazione sono stati contenuti in **17 mesi grazie** alla fabbricazione e alla lavorazione in stabilimento dei pannelli x-lam di grandi dimensioni, di cui in cantiere devono essere eseguite **soltanto le connessioni**. Oltre agli importanti risvolti economici, il risultato è stato quello di **ottenere un processo di costruzione più rapido, meno rischioso per le maestranze, tecnicamente più controllabile e meglio gestibile.**

Una volta terminato il piano interrato, unica parte del complesso che prevedeva l'impiego del cemento armato, si è passati a quella delle strutture in legno. Nel cantiere di via Cenni, per la sola parte strutturale sono stati impiegati circa 6100 mc di legno (una quantità imponente e tuttavia sostenibile di materiale, dal momento che viene prodotta in meno di un'ora dalla superficie boschiva italiana). Per il trasporto dei pannelli è stato programmato e accuratamente studiato a tavolino l'impiego di 140 bilici.

Il cordolo in cemento su cui si innestano le pareti xlam è stato sovradimensionato come tutti gli altri elementi per rispondere alle normative ministeriali. Fra la parte «fredda» in cemento armato e quella «calda» in legno è stata applicata una **guaina bituminosa di separazione**, isolando il tutto successivamente tramite un nastro tecnico traspirante, impiegato anche per le giunzioni. Tra pareti e solai è stata inserita una guaina antirumore; i giunti di posa su misura sono stati adottati solo dove necessari.

La ricerca di ogni ottimizzazione possibile nella posa in opera dei sistemi di connessione tra pannelli ha portato a **realizzare una macchina semiautomatica** per la posa in opera degli spinotti di ancoraggio.

Per i primi tre livelli della costruzione e l'interfaccia con le fondamenta, sono stati adottati **collegamenti con staffe meccaniche e spinotti autoforanti**, con un numero di spinotti in elevazione variabile a seconda degli sforzi effettivi da trasmettere. Questo tipo di collegamento è caratterizzato da una resistenza molto grande e permette quindi di ancorare forze di trazione elevate, come quelle che si presentano nelle pareti dei livelli inferiori. La continuità del collegamento è assicurata dalla disposizione degli spinotti su tutta la lunghezza della parete, in numero leggermente ridotto e più distanziato nella parte centrale, dove le forze sono ridotte e limitate essenzialmente alla sola componente orizzontale. La rigidità del collegamento è buona, malgrado i mezzi di collegamento siano sollecitati a taglio e flessione. Grazie all'impiego di spinotti autoforanti, la foratura dei pannelli e

delle lamiere di acciaio non deve avvenire in officina e le eventuali tolleranze di produzione e di montaggio possono essere assorbite e regolate in sito al momento dell'introduzione degli spinotti.

Per i livelli superiori è stato applicato un collegamento più semplice ed efficace in termini di rigidità. La trasmissione delle forze avviene tramite **viti a tutto filetto** disposte a coppie incrociate e inclinate sempre di almeno 30° rispetto alla direzione della fibratura dei singoli strati di tavole dei pannelli. La messa in opera di collegamenti di questo tipo non richiede alcuna lavorazione particolare degli elementi in legno, e può avvenire in modo semplice. Il collegamento risulta particolarmente efficace anche dal punto di vista strutturale, in quanto le forze sono trasmesse direttamente fra i due elementi strutturali di legno, senza dover passare per elementi intermedi. A parità di forze in gioco, questo tipo di collegamento permette anche di ottenere una rigidità maggiore rispetto alla soluzione con gli spinotti.

I collegamenti sui giunti verticali (ad angolo retto o piatto) fra i diversi elementi delle pareti sono realizzati con viti a tutto filetto, anche in questo caso disposte a coppie incrociate e inclinate. Tutti gli elementi di soletta lavorano come elementi inflessi principalmente in una direzione, ma sono anche orizzontamenti con funzione di lastra controventante e devono quindi essere collegati fra di loro a creare una lastra monolitica su tutto il piano. Il numero di giunti intermedi è ridotto al minimo indispensabile e sono stati impiegati elementi della massima larghezza possibile, per ottenere lastre rigide in relazione all'insieme della struttura.

LE STRUTTURE E I COLLEGAMENTI

Il sistema costruttivo è a **pannelli portanti in legno a strati incrociati**. Le uniche parti realizzate in cemento armato sono il solaio del piano terra, le strutture in elevazione del piano interrato e quelle di fondazione, dimensionate sulla base dei carichi ceduti al piano terra dalle sovrastanti strutture in legno. Queste si impostano sul solaio del piano terra, formato da lastre tipo predalles completate da un getto armato in opera, mediante tirafondi annegati nei getti. La struttura portante dell'edificio può essere definita come una **struttura scatolare**, tridimensionale, composta da superfici piane, orizzontali e verticali, opportunamente collegate fra loro. Le superfici strutturali sono formate da pannelli di legno massiccio incollato a strati incrociati x-lam. **Travi e pilastri** sono stati utilizzati soltanto quali elementi di rinforzo o complemento locale della struttura. La struttura della torre è caratterizzata da sette assi verticali di pareti, di cui tre disposte ortogonalmente rispetto alle altre quattro. Tali pareti

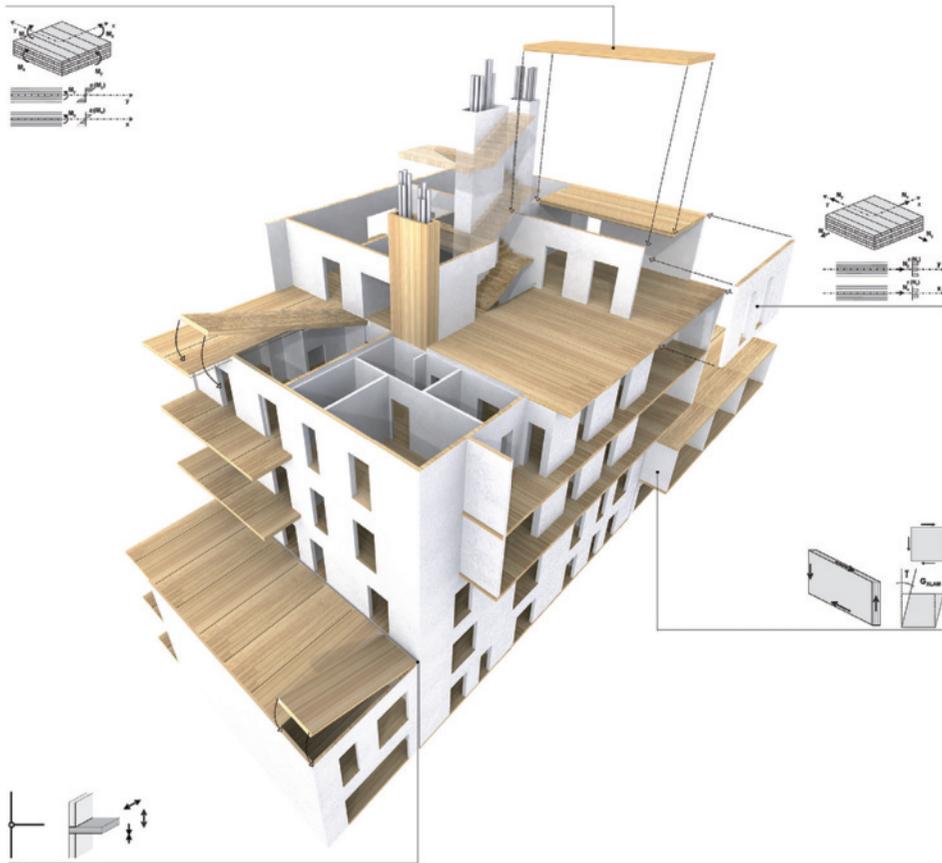


IL SISTEMA COSTRUTTIVO è a pannelli portanti in legno a strati incrociati. Le uniche parti realizzate in cemento armato sono il solaio del piano terra, le strutture in elevazione del piano interrato e quelle di fondazione, dimensionate sulla base dei carichi ceduti al piano terra dalle sovrastanti strutture in legno.



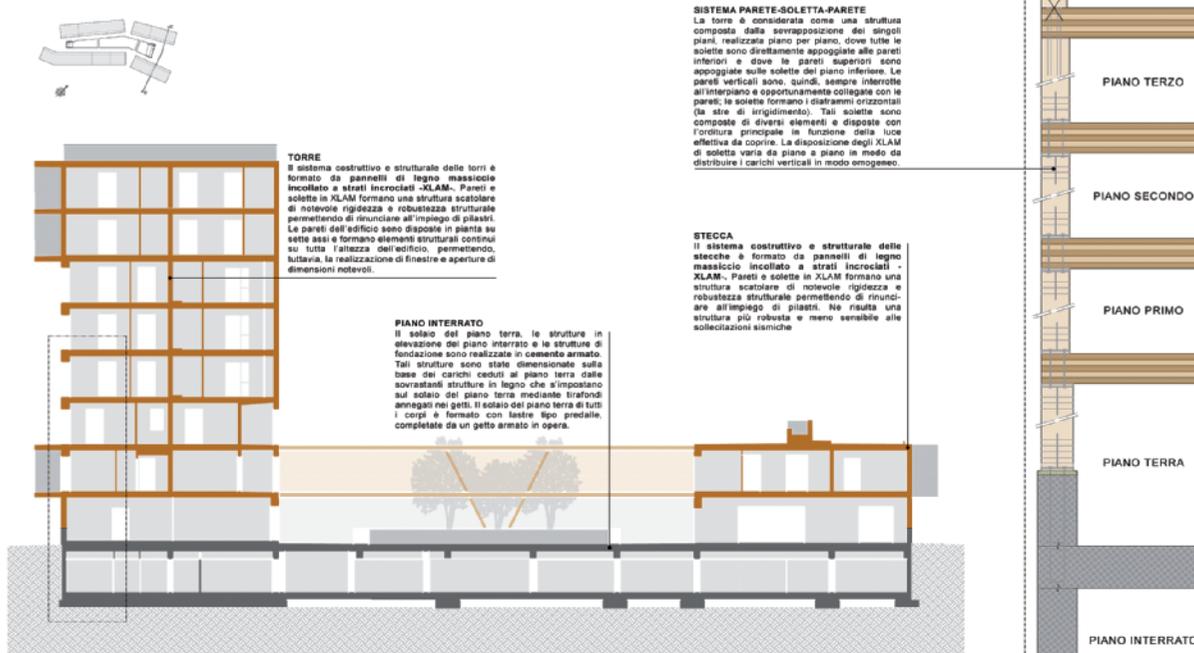
LA STRUTTURA PORTANTE dell'edificio può essere definita come una struttura scatolare, tridimensionale, composta da superfici piane, orizzontali e verticali, opportunamente collegate fra loro. Le superfici strutturali sono formate da pannelli di legno massiccio incollato a strati incrociati x-lam.

STRUTTURE IN LEGNO | OLTRE 34000 MQ DI PANNELLI X-LAM



SCHEMA COSTRUTTIVO DELL'EDIFICIO. La struttura della torre è caratterizzata da sette assi verticali di pareti, di cui tre disposte ortogonalmente rispetto alle altre quattro ad assicurare continuità strutturale dal livello del terreno fino alla copertura del nono piano dell'edificio, garantendone la regolarità e la continuità.

SEZIONE SCHEMATICA DEL SISTEMA COSTRUTTIVO



SEZIONE SCHEMATICA. Per via delle aperture, le pareti sono composte da più elementi di lunghezza diversa, collegati fra loro tramite le solette orizzontali. La continuità della discesa dei carichi dalla copertura alle fondamenta dell'edificio è assicurata dalla continuità dei diversi segmenti delle pareti verticali. Le aperture sono localmente sormontate da architravi, di regola integrate nelle pareti e formate dagli stessi pannelli x-lam, che distribuiscono i carichi sulle parti continue delle pareti verticali.

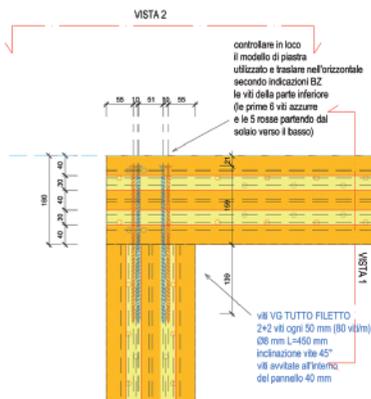


L'INTERVENTO HA RICHIESTO l'impiego di 6100 mc di legno per le sole strutture.

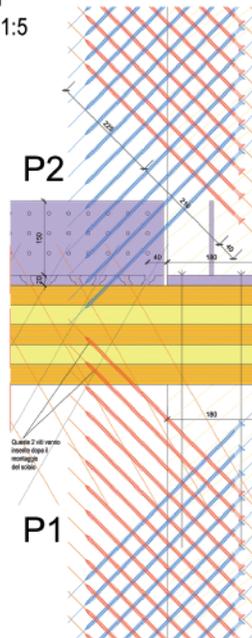


DETTAGLI di alcune connessioni.

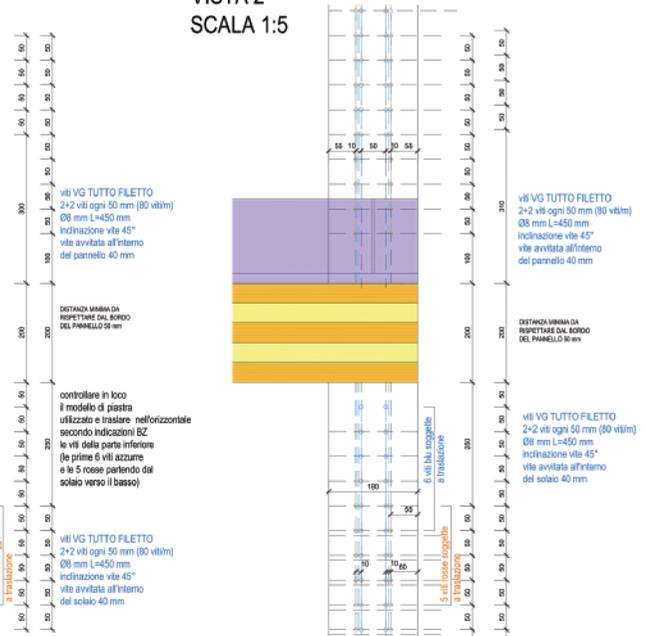
Dettaglio D1
PIANTA PARETI P1 e P2 e P3
SCALA 1:5



Dettaglio D1
VISTA 1
SCALA 1:5



Dettaglio D1
VISTA 2
SCALA 1:5



NEL CANTIERE sono state posate circa 700mila viti, in gran parte di lunghezza compresa tra 450 e 530 mm.

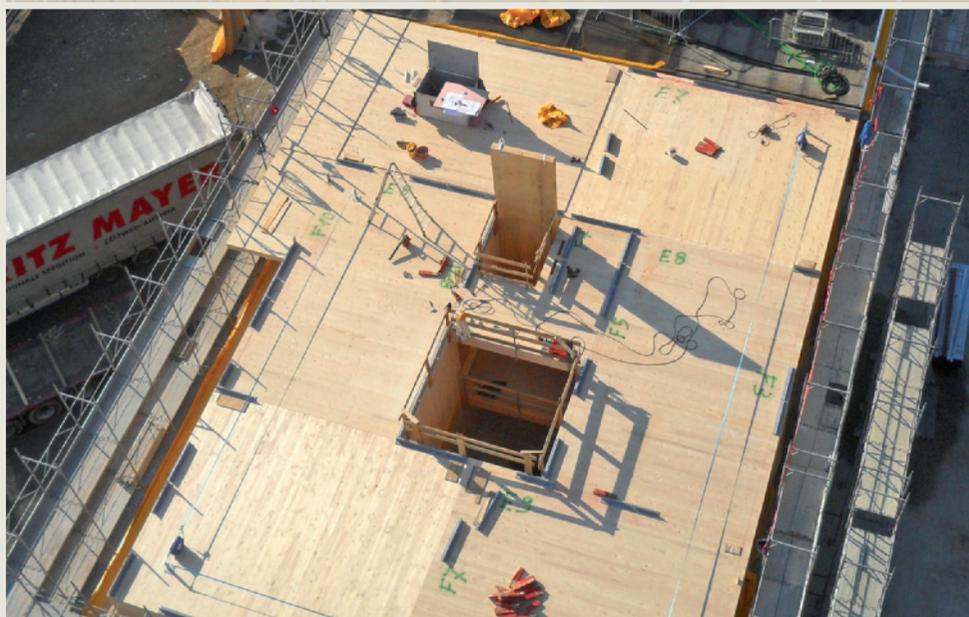
LA COSTRUZIONE | 9 TORRI DA 27 METRI IN 14 MESI

assicurano la continuità strutturale dal livello del terreno fino alla copertura del nono piano dell'edificio, garantendone la regolarità e la continuità sia in verticale che in orizzontale. Per via delle aperture, le pareti sono composte da più elementi di lunghezza diversa, collegati fra loro tramite le solette orizzontali. La continuità della discesa dei carichi dalla copertura alle fondamenta dell'edificio è assicurata dalla continuità dei diversi segmenti delle pareti verticali. Le aperture sono localmente sormontate da architravi, di regola integrate nelle pareti e formate dagli stessi pannelli x-lam, che distribuiscono i carichi sulle parti continue delle pareti verticali. I carichi puntuali che ne risultano si distribuiscono sulle pareti verso il basso. **Gli unici elementi a sbalzo** sono dati dalle solette di alcuni balconi e dalle sporgenze della copertura. Non ci sono pareti portanti appoggiate «in falso» o pilastri appoggiati su elementi inflessi quali travi o solette. Le pareti verticali – come le porzioni delle stesse – senza continuità verso il basso sono considerate come non portanti e non sono prese in esame nell'analisi strutturale. Il risultato di questa considerazione è un'ipotesi di discesa dei carichi che permette di seguire il flusso delle forze in tutto l'edificio e di procedere al primo dimensionamento di tutti gli elementi strutturali in modo efficace e facilmente controllabile. La torre è considerata come una struttura composta dalla sovrapposizione dei singoli piani – realizzata piano per piano – dove tutte le solette sono direttamente appoggiate alle pareti inferiori e dove le pareti sono appoggiate sulle solette del piano inferiore. Le pareti verticali sono in questo modo sempre interrotte all'interpiano e opportunamente collegate con le pareti. Le solette formano i diaframmi orizzontali (lastre di irrigidimento). La regolarità della struttura è quindi assicurata anche in elevazione. Le solette con funzione di lastra orizzontale sono composte di diversi elementi e disposte con l'orditura principale in funzione della luce effettiva da coprire. Ne risultano solette composte da più elementi e con più linee di giunzione, nelle due direzioni del piano. In considerazione dell'interruzione delle pareti verticali, le solette sono state inizialmente ammesse come rigide nel proprio piano per la distribuzione delle forze del vento sui diversi assi delle pareti verticali. La struttura della torre può essere considerata come rigidamente vincolata alle fondamenta, che nel caso dell'edificio di via Cenni sono rappresentate dalla struttura di calcestruzzo armato di un piano di altezza, completamente interrato.

Il sistema costruttivo e strutturale delle stecche è formato da pannelli di legno massiccio incollato a strati incrociati x-lam.



IL SISTEMA COSTRUTTIVO e strutturale delle stecche è formato da pannelli a strati incrociati x-lam.



LE SOLETTE formano i diaframmi orizzontali e si comportano come lastre di irrigidimento.



IN CIASCUN PIANO le pareti sono realizzate con pannelli x-lam dello stesso spessore e con la stessa stratigrafia.

EFFICIENZA ENERGETICA E SOSTENIBILITÀ

Gli edifici del complesso sono in **classe energetica A**. Grazie alle caratteristiche costruttive delle pareti in legno massiccio e alle dotazioni impiantistiche, il consumo medio annuo previsto per un appartamento di 100 mq è inferiore ai **300 euro** (si va da un minimo di 248 a un massimo di 479, salvo in presenza di un clima molto rigido), a fronte dei 1000-1500 mediamente spesi per il riscaldamento invernale di alloggi situati in edifici italiani di concezione tradizionale.

Per l'isolamento delle pareti esterne è stato adottato un cappotto in materiale isolante dello spessore complessivo di circa 20 cm. Sulle coperture è stata adottata anche la soluzione del tetto verde, la cui piantumazione sarà decisa di comune accordo dagli abitanti.

A livello impiantistico, sono previsti riscaldamento e raffrescamento tramite pannelli radianti a pavimento alimentati da pompe di calore geotermiche che sfruttano l'acqua di falda. Quando, inoltre, le pompe di calore si attiveranno per la produzione di acqua fredda destinata al raffrescamento degli ambienti, in automatico il calore estratto dagli ambienti verrà utilizzato per l'acqua calda sanitaria. Parallelamente, per minimizzare le dispersioni termiche causate dalla ventilazione naturale dell'edificio, è presente un sistema di ventilazione meccanica a recupero di calore con ciclo termodinamico, che garantisce un riciclo dell'aria tale da assicurare salubrità e comfort degli ambienti contenendo al massimo le dispersioni termiche.

Il complesso è dotato di un sistema di recupero delle acque piovane per il riutilizzo nell'irrigazione di tetto verde e giardino centrale.

I circa **6100 mc di legno** impiegati per le strutture provengono tutti da foreste certificate dell'Austria, in cui viene praticata un'attenta gestione forestale che consente la crescita costante del patrimonio boschivo. I **collanti** impiegati nei pannelli Clt StoraEnso sono completamente privi di formaldeide.

Le solette sono formate da pannelli x-lam, la cui orditura principale è stata disposta sulla luce di portanza principale. Vista la disposizione non identica della distribuzione degli spazi e dei balconi ai singoli piani, l'orditura delle pareti è stata disposta in modo da ottenere luci non troppo importanti per tutte le solette, e in modo da non rendere necessaria l'introduzione di elementi strutturali che mettessero in discussione la regolarità della struttura globale. Ne risulta una disposizione degli elementi x-lam di soletta diversa per ogni piano, che permette di distribuire i carichi verticali in modo piuttosto omogeneo su tutte le pareti verticali. Le luci delle solette arrivano fino a un massimo di 6,70 m, cui si aggiunge in alcuni casi la parte di balcone a sbalzo verso l'esterno. Lo spessore dei pannelli è di 200 mm per le solette fino a 5,80 m di luce, e di 230 mm per le solette di 6,70 m di luce, soddisfacendo quindi tutte le esigenze di



LA STRUTTURA TRIDIMENSIONALE è ottenuta dai collegamenti fra i pannelli X-lam che la compongono.



IL COMPORTAMENTO SCATOLARE è assicurato dalla collaborazione strutturale dei diversi piani.



LE SOLETTE SONO formate da pannelli x-lam, la cui orditura principale è disposta sulla luce di portanza principale.

resistenza e di rigidità delle normative attuali. In ciascun piano **le pareti** sono realizzate con pannelli x-lam dello stesso spessore e con la stessa stratigrafia. Questo assicura l'omogeneità strutturale di ogni livello e la riduzione progressiva e regolare della rigidità strutturale salendo verso l'alto. Lo spessore delle pareti è stato fissato sulla base di questo principio e in funzione del loro dimensionamento strutturale. Ne risulta uno spessore di 120 mm per il livello 9, di 140 mm per i livelli 8 e 7, di 160 mm per i livelli 6 e 5, di 180 mm per i livelli 4, 3 e 2, e di 200 mm per il primo livello (piano terra). La struttura tridimensionale è ottenuta dai collegamenti fra i pannelli x-lam che la compongono. Una caratteristica dei collegamenti strutturali della costruzione in legno è quella di deformarsi in modo più o meno importante se sottoposti a carico. Tale scorrimento è trascurabile nel caso di strutture semplici, di dimensioni ridotte, o con un ridotto numero di collegamenti, ma non in una struttura più complessa e scatolare come quella in pannelli x-lam del complesso di via Cenni, a elevato grado di iperstaticità interno e dunque particolarmente sensibile al fenomeno. La distribuzione degli sforzi interni, cioè dell'effettiva sollecitazione dei singoli elementi, dipende in modo diretto dalla rigidità dei collegamenti, e non solo dalla rigidità dei singoli elementi strutturali di parete e di soletta. La struttura scatolare esiste soltanto grazie alla collaborazione strutturale dei diversi piani da cui è composta e alla capacità di assicurare un flusso di forze efficace fra le diverse superfici senza che queste si spostino una rispetto all'altra.

Per questa realizzazione sono stati dunque definiti collegamenti lineari, con i relativi valori di resistenza e, soprattutto, con le rispettive caratteristiche di rigidità.

Sulla base dei parametri di rigidità dei collegamenti definiti in fase di progetto è stata realizzata successivamente un'analisi numerica tramite un modello complesso, che non tutti i pacchetti di software comunemente disponibili per il calcolo delle strutture portanti sono in grado di gestire. È inoltre stata eseguita un'analisi dell'effetto della variazione delle rigidità dei collegamenti, con lo scopo di valutare la sensibilità dell'intero sistema strutturale ben oltre i limiti della variazione delle caratteristiche meccaniche dei diversi collegamenti usati. In tal modo si è potuto dimostrare la ridotta sensibilità della struttura alla variazione, anche importante, dei singoli parametri meccanici che la caratterizzano.

IL COMPORTAMENTO SISMICO

Quella del complesso di via Cenni può essere considerata una struttura ideale dal punto di vista della regolarità strutturale, sia in pianta

IL VALORE DELLE COMPETENZE



Arch. Riccardo Ronchi
Polaris Real Estate

«La Sgr ha organizzato team di professionisti esperti nella

gestione del processo di sviluppo in grado di pianificare, programmare e controllare costantemente tempi e costi legati alle principali fasi del processo. Il team opera nel rispetto di procedure improntate sulla qualità ed economia dei processi, progettate e attuate al fine di assicurare il raggiungimento degli obiettivi attesi».



Arch. Giordana Ferri
Fondazione Housing Sociale

«Il progetto è stato studiato in ogni suo aspetto: architettonico,

finanziario e sociale. Ogni ambito è stato sviluppato attraverso procedure molto innovative e replicabili, dal concorso d'architettura alla tecnologia utilizzata, un sistema di strutture portanti in legno in pannelli a strati incrociati, applicato nel più grande progetto residenziale in Europa per dimensioni, fino alla selezione degli inquilini».



Arch. Michele D'Ambrosio
capo progetto e direttore Llavori Tekne spa

«La direzione dei lavori ha avuto il

suo grande impegno nei termini di vigilanza delle attività svolte e di accertamento di conformità a tutte le prescrizioni normative in corso. In quanto elemento strutturale, il legno soggiace a tutte le prescrizioni delle nuove Norme Tecniche di Costruzione (Ntc 2008) e, come tale, il controllo in fase di accettazione è stato continuativo e approfondito».



Dott. ing. arch. Thomas Schrentewein
Lignaconsult Schrentewein & Partner srl

«La sfida più impegnativa del

team di progettazione, composto oltre alla mia persona anche dagli ingegneri Sebastian Vigl, Michele Girardi e Luca Maier, è stata sicuramente realizzare un progetto esecutivo strutturale partendo da un definitivo, soprattutto in relazione agli stretti vincoli e alle tempistiche imposte».

che in elevazione, quindi anche in relazione al rispetto dei criteri fondamentali della progettazione antisismica. **Un'analisi dinamica** della struttura e del suo comportamento in caso di azione sismica è stata realizzata per i parametri sismici previsti nella zona di edificazione del progetto. L'analisi è stata realizzata in modo lineare elastico, senza ricorrere al-

la mobilitazione delle riserve anelastiche o di dissipazione di energia dei componenti della struttura, considerando quindi un fattore di struttura ridotto al minimo. Nell'intento di procedere nel modo più semplice possibile, ma anche alla luce della bassa sismicità della zona in cui si trova l'edificio, si è proceduto a un'analisi in ambito elastico, ammettendo co-



Ing. Marco Bergami
responsabile progetto Ets

«Si è reso necessario prevedere tutti i passaggi degli impianti in modo che non interferissero

con i sistemi di giunzione tra pannelli e solai in legno, evitando di indebolire la struttura. Si sono inoltre dovute affrontare approfonditamente le tematiche afferenti la protezione al fuoco delle strutture e l'isolamento acustico delle stesse, dal momento che al riguardo ancora non esiste un riferimento univoco per strutture lignee. Si tratta di un salto di qualità sia nell'approccio e nelle procedure progettuali che nell'esecuzione dei lavori».



Ing. Andrea Bernasconi
Borlini & Zanini sa

«La sfida più grande di questo cantiere è stata probabilmente la dimensione

assoluta dell'oggetto in questione (9 piani u una superficie complessiva di 17mila mq), cui la costruzione in legno non è ancora abituata e questo malgrado dal punto di vista tecnico siano state applicate tecniche e tecnologie moderne e innovative, ma in tutto e per tutto corrispondenti allo stato dell'arte, della scienza e della conoscenza attuali».



Prof. Arch. Fabrizio Rossi Prodi
Rossi Prodi & Associati srl

«L'area era piccola, il numero di alloggi elevati e allora ho

dovuto concentrare il costruito e raccogliarlo attorno a una corte verde. Proprio il giardinetto interno e i tetti verdi sono il cuore del progetto, segno tangibile di una riconciliazione dell'uomo con l'ambiente».



Arch. Andrea Maraschin
Carron spa

«È indubbiamente un progetto complesso e avveniristico, che segna un passaggio epocale per le costruzioni in

legno e una grande occasione di crescita per l'azienda, che per la prima volta in cinquant'anni di storia si misura con edificazioni di questo tipo».



Ing. Umberto Biscottini
strutturista e direttore lavori strutture Tekne spa

«Ogni più piccola forometria è

oggetto di studio e in cantiere si fanno salti mortali perché non si può «ritoccare» nessuna delle asole previste. L'impegno necessario per seguire, controllare e validare queste attività è stato ed è molto importante, anche perché nulla può essere lasciato indeterminato o impreciso. Molto più che con gli ordinari materiali da costruzione».



Arch. Alberto Tinelli
responsabile della sicurezza, Tekne spa

«A lavori intrapresi, anche grazie all'efficienza tecnico-operativa

dell'impresa affidataria (Carron Cav. Angelo spa), si è potuto constatare che quanto delineato nel Psc fosse effettivamente applicabile con buoni risultati in termini di sicurezza sul cantiere (salvo alcuni perfezionamenti fisiologici in corso d'opera)».



Geom. Piero Asprella
Service Legno

«Fondamentali sono state la logistica accurata, che ha permesso la movimentazione

programmata di 140 megatrailer, e la capacità di fare squadra di tutte le figure coinvolte, dal singolo operaio alla linea di produzione del fornitore dei pannelli x-lam».

me fattore di comportamento $q = 1,0$. Pur procedendo secondo una metodologia semplice e conservativa, si è potuto in questo modo dimostrare la **sufficiente sicurezza sismica** dell'edificio secondo le prescrizioni vigenti, rinunciando a un'analisi dettagliata e approfondita del comportamento in caso di azione sismica delle diverse tipologie di connessioni

e collegamenti impiegati, in relazione al loro comportamento duttile – cioè considerando le deformazioni effettive locali e globali tanto dei singoli collegamenti, quanto dell'insieme della struttura – e alla sua caratterizzazione. **L'analisi sismica approfondita**, realizzata in fase di progetto definitivo e in vista dell'ottenimento del parere del Consiglio Superiore dei

Lavori Pubblici, è stata completata con la variazione della massa della costruzione, in modo da poter considerare anche la possibile variazione del tipo di finiture (pavimenti, massetti, ecc.) in fase di progettazione esecutiva, senza dover rimettere in discussione l'insieme del progetto strutturale.