POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Architettura

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale

Holzhausbau, la griglia come strumento progettuale applicata al modulo sperimentale MAACC

Relatore
Prof. Guido Callegari

Co-relatore
Ing. Giuseppe Gianolio

Candidato
Rocco Alvaro

Dicembre 2018

Ringrazio il prof. Guido Callegari, relatore della mia tesi, per avermi seguito attentamente durante questo percorso.

Ringrazio l'azienda VASS Technologies e l'Ing. Giuseppe Gianolio, co-relatore, che mi ha accompagnato durante l'esperienza aziendale.

Ringrazio il mio amico Alessandro Santi per le fotografie scattate, utili a completare la mia tesi.

"Se veramente ci preme di aderire nel modo più stretto ai termini di una civiltà che sembra di giorno in giorno sfuggirci dovremo, noi architetti, elevare l'architettura ad attività industriale di altissima qualità, valendoci della facoltà che, come artisti, ci è propria di ricondurre continuamente all'unità della sintesi gli aspetti più diversi della vasta problematica concernente la nostra arte"

W.Gropius nel libro "Architettura e industria: lineamenti di tecnica della produzione edilizia", G. Ciribini, 1958

Indice

I - Dall'artigianato alla prefabbricazione

1.1 L'artigianato secondo Heinrich Tessenow

1.1.1 I principi su cui si fonda

1.1.2 Dal concetto di ornamento a quello di uniformità

1.2 La prefabbricazione in «Holzhausbau» di Konrad Wachsmann

1.2.1 Il nuovo ruolo dell'artigiano

1.2.2 Konrad Wachsmann e la creazione di uno strumento di progetto

1.3 Giuseppe Ciribini e il coordinamento modulare della prefabbricazione pesante

1.3.1 Il coordinamento modulare delle componenti

1.3.2 W.Gropius e il coordinamento modulare nel Weissenhof

1.4 "A Guide to Modular Design and Construction"

1.4.1 L'impatto di Gropius e Wachsmann, lo sviluppo digitale nella prefabbricazione

1.4.2 Sviluppo tecnologico: accenno al concetto di tecnologia

1.4.3 I livelli di prefabbricazione: la griglia come strumento di progettazione

1.4.4 Tre casi studio di prefabbricazione modulare

II - Le nozioni di G.Ciribini applicate alla prefabbricazione intelaiata leggera

2.1 L'elaborazione della griglia modulare

2.1.1 Dai dati al dimensionamento

2.1.2 La definizione dell'abaco delle aperture

2.2 Il sistema intelaiato leggero

2.2.1 Dal Balloon-frame al Platform-frame

2.2.2 Le strutture principali e le connessioni
2.2.3 Il trasporto delle pareti prefabbricate
2.2.4 Gli elementi costruttivi principali
2.2.5 Le caratteristiche prestazionali

III - Il coordinamento modulare del caso studio

3.1 VASS Technologies
3.2 L'analisi del caso studio: B&B in Baldissero Torinese
3.2.1 Analisi architettonica
3.2.2 Analisi tecnologica: telaio e pannelli OSB
3.3 Il coordinamento modulare del caso studio
3.3.1 l'adattamento del telaio alla griglia
3.3.2 Il posizionamento dei pannelli in OSB modulari
3.3.3 Il disegno architettonico dopo il coordinamento
3.4 La comparazione architettonica prima e dopo il coordinamento
3.5 L'analisi dei dati per la produzione delle pareti a telaio

IV - l modulo sperimentale MAACC

4.1 Presentazione del progetto
4.2 Il coordinamento dimensionale del MAACC

Conclusioni

Bibliografia e sitografia

Introduzione

L' argomento principe della tesi è l'innovazione tecnologica del sistema costruttivo in legno platform-frame; attraverso l'utilizzo di una griglia modulare come linea guida per la composizione architettonica dell'oggetto finale. La trattazione si avvale quindi degli studi di Giuseppe Ciribini sul coordinamento modulare della prefabbricazione pesante, adattati al cotesto tecnologico del sistema costruttivo a telaio platform-frame. L'idea della tesi nasce attraverso le ricerche sull'artigianato di Heinrich Tessenow, fondamentali per arrivare all'esperienze del suo allievo Konrad Wachsmann, nella più grande industria pilota nella produzione di componenti e di sistemi costruttivi in legno nella Germania degli anni Venti e Trenta, la Christoph & Unmack a Niesky, in Slesia. L'applicazione della tesi avviene all'interno dell'azienda VASS Technologies, presso la quale ho svolto l'attività di tirocinio. L'attività di suddetta impresa è dedicata alla progettazione e realizzazione di case, sopraelevazioni e coperture in legno prefabbricate, attraverso il sistema costruttivo a telaio platform-frame interamente realizzato in fabbrica e destinato al montaggio in cantiere.

Lo scopo è quello di mostrare, attraverso i risultati ottenuti dall'impiego della griglia, come l'utilizzo di linea guida dimensionali, sin dalle prime fasi progettuali, porti un vantaggio in termini di riduzione a tipo degli elementi che compongono l'oggetto finale e di miglior utilizzo del materiale disponibile iniziale.

L'obiettivo della tesi è proporre una griglia a maglia quadrata sulla quale comporre le idee progettuali, per migliorare gli aspetti produttivi degli elementi prefabbricati che compongono un'abitazione, garantendone una flessibilità compositiva e architettonica.

Le scelte adottate per sviluppare l'idea progettuale sono strettamente legate alle informazioni specifiche e tecniche estrapolate dal contesto aziendale e dalle nozioni teoriche sui temi dell'artigianato, dell'industrializzazione e della prefabbricazione, che risultano essere la base necessaria per lo sviluppo generale della tesi.

Lo stimolo è nato dalla curiosità per le moderne metodologie produttive dei componenti per l'edilizia, rapportate all'architettura artigianale. In passato la pratica costruttiva era prevalentemente artigianale, con l'avvento dell'industrializzazione e la nascita di nuovi bisogni sociali, economici e ambientali, si è assistito a un cambio di rotta a vantaggio del mezzo industriale.

L'ntento della tesi è anche quello di rappresentare come la prefabbricazione possa avvicinarsi alle esigenze della società contemporanea, attraverso l'uso delle tecniche e dei metodi più raffinati per raggiungere obiettivi sempre più flessibili e vicini alle esigenze architettoniche. Per far ciò mostrerò quali aspetti dell'oggetto architettonico finale mutino con l'utilizzo della prefabbricazione sottoposta a coordinamento modulare, analizzando sia gli aspetti della composizione architettonica, che quelli relativi all'ambito produttivo dell'elemento; evidenziando così,

l'importanza dell'integrazione alle fasi compositive delle nozioni tecnologiche nel processo di progettazione architettonica. Dunque l'utilizzo fin dalle prime fasi progettuali di informazioni inerenti agli aspetti produttivi risulta fondamenale per una composizione architettonica coerente con l'intero processo realizzativo dell'architettura.

Il metodo adottato per spiegare al meglio la tesi proposta, concerne l'analisi delle nozioni teoriche sui temi dell'artigianato, dell'industrializzazione e della prefabbricazione, applicate a due casi studio concreti. Si prevede l'implementazione della fase produttiva degli elementi, attraverso l'utilizzo di concetti tecnologici tratti dal «coordinamento modulare» di Giuseppe Ciribini, che rimangono dipendenti da aspetti tecnologici, strutturali, compositivi e produttivi dell'architettura considerata.

La struttura dell'elaborato comprende quattro fasi principali; la prima fase vuole raccontare tramite la letteratura di Heinrich Tessenow, quali siano le caratteristiche principali del lavoro artigianale nell'architettura, e come cambia il suo contributo per la produzione dei componenti architettonici durante la rivoluzione industriale. Tramite il libro Holzhausbau di Konrad Wachsmann si argomenteranno gli aspetti principali che caratterizzeranno la produzione seriale dei componenti per l'architettura. In questa fase inoltre verranno esposti i contributi di Giuseppe Ciribini in ambito industriale e architettonico, concentrando principalmente l'interesse verso quello che è per lui il «coordinamento modulare». Verrà quindi descritto il caso studio sperimentale della Casa unifamiliare 17 progettata da Walter Gropius nel quartiere Weissenhof di Stoccarda in occasione dell'esposizione organizzata dal Deutsher Werkbund per evidenziare attraverso un analisi grafica il coordinamento modulare che presente nelle componenti di tamponamento in fibrocemento. Inoltre verranno presentati altri tre casi studio con sistemi costruttivi in legno diversi, aventi livelli di prefabbricazione crescente. Verrà evidenziata la modularità delle componenti costruttive attraverso l'analisi del progetto Packaged House System di W.Gropius e K.Wachsmann, fino a due casi studio più recenti che gli strumenti moderni hanno permesso di realizzare, l'Alphenhotel Hammerwald BMW, Reutte, Austria 2009 di Oskar Leo Kaufmann e la Casa Montarina, Lugano, 2008 di Lorenzo Felder.

Nella seconda fase verrà analizzata la prefabbricazione intelaiata leggera platform-frame; esaminando nello specifico le componenti principali dell'involucro che condizionano la prefabbricazione (quali ad esempio l'attacco a terra, l'angolo parete-parete, l'angolo parete-solaio e il fissaggio del serramento alla parete; tramite il ridisegno di dette parti in scala adeguata), le connessioni, il trasporto e alcune caratteristiche prestazionali. Si proseguirà con all'acquisizione dei dati ricavati dall'analisi del sistema costruttivo, degli elementi che lo compongono e della dimensione delle aperture per la formulazione del dimensionamento modulare di Giuseppe Ciribini applicata al sistema costruttivo intelaiato leggero. Tale griglia verrà applicata durante le fasi progettuali di una nuova architettura per coordinare le dimensioni planimetriche e degli alzati; con l'obbiettivo di generare un abaco di dimensioni modulari relative ai pannelli di tamponamento in OSB del telaio.

La terza fase prevede l'applicazione del reticolo modulare al caso oggetto di studio realizzato dall'azienda VASS Technologies. Nello specifico si effettuerà l'analisi di una villa bipiano a pianta rettangolare destinata a B&B. Verranno esaminati gli aspetti architettonici che la contraddistinguono tramite il disegno di planimetrie e prospetti, con particolare attenzione a quella che è la disposizione e la dimensione delle aperture sull'involucro. Successivamente si provvederà alla rappresentazione del telaio e dei pannelli in OSB, seguendo le direttive tecnologiche e strutturali già elaborate dall'azienda. Si procederà quindi preventivamente all'applicazione della griglia modulare al telaio strutturale,

modificando la posizione planimetrica degli elementi montanti, in una seconda fase verranno applicati gli elementi modulari in OSB sugli alzati. A questo punto si mostreranno le differenze che comporta l'utilizzo di un dimensionamento modulare; tramite la comparazione di planimetrie e prospetti che rappresentano la composizione tecnologica e architettonica del fabbricato. Inoltre tramite la stesura dei computi metrici e la definizione delle dimensioni dei singoli elementi di OSB necessari, potranno essere calcolati attraverso programmi aziendali specifici i dati relativi all'utilizzo del materiale OSB; evidenziando quantità, scarti, costi e tempi di elaborazione del tamponamento.

La quarta fase della tesi si articola nella descrizione dell'esperienza avvenuta all'interno del Team studentesco Recyclo di cui faccio parte. Verrà presentato il contributo progettuale per la realizzazione del modulo sperimentale MAACC, ovvero un Modulo Abitativo Autosufficiente per Cicloturisti e Camminatori. Sarà sperimentato il «coordinamento modulare» del modulo per lo sviluppo dimensionale delle componenti del sistema costruttivo a telaio con struttura portante in «Suteki Wood Sistem». Lo sviluppo finale presenterà, tramite un reportage fotografico l'esperienza pratico realizzativa del modulo.

L'obiettivo di questa fase finale è sperimentare quale possa essere una più coerente applicabilità della griglia ai molteplici e differenziati casi di prefabbricazione e autocostruzione, scoprendo così i vantaggi più accentuati, le possibili criticità e le prospettive future.

"*Da nessuna parte esistono tradizioni costruttive immutabili l'obbiettivo non dev'essere la museificazione delle forme ma la nuova utilità sociale, economica ed ambientale.*"
"Flessibile come di pietra – tattiche di sopravvivenza e pratiche di costruzione nei villaggi montani", A. Bocco e G. Cavaglià, 2010

Capitolo I - Dall’artigianato alla prefabbricazione

1.1 L'artigianato secondo Heinrich Tessenow.

1.1.1 I principi su cui si fonda

Le prime costruzioni abitative mercantili e le case costruite dalle generazioni del passato, raramente erano opera di architetti famosi; per la maggiore venivano costruite senza alcuna pretesa da semplici muratori e carpentieri sotto i dettami del proprietario della futura abitazione che indicava le dimension e la disposizione di stanze, finestre e elementi principali. Tutto questo processo era sorretto da una solida tradizione artigianale tramandata nel tempo. Gli artigiani custodivano nella loro esperienza le regole e le giuste proporzioni tra i rapporti dei volumi e degli oggetti, che venivano applicate con la massima naturalezza in ogni tipo di lavoro: *«perché esse riflettevano esattamente ciò che rea ritenuto da tutti razionale, necessario e bello.»* [1] Nelle vecchie abitazioni non era presente nulla che risaltasse in modo particolare; i muri erano lisci e intonacati, il tetto era prevalentemente a falde con l'orditura in tegole, la forma delle porte e delle finestre era spesso rettangolare o quadrata, i cornicioni sporgevano poco e, a volte, era presente un impercettibile ornamento. L'aspetto comune di queste case esprimeva valori durevoli grazie alla loro continuità formale che suscita nell'osservatore *«un sentimento che ci fa dire semplicemente: deve essere così.»*[2] Gli artigiani del tempo affrontatavano i problemi dell'architettura applicando i principi fondamentali quali; oggettività, semplicità, praticità e sincerità dei materiali, e tramite questo tradizionale processo di discernimento erano così in grado di porsi accanto agli architetti del tempo antico. La validità di tali principi si concretizzava soltanto

Breve biografia Heinrich Tessenow

Nasce il 7 aprile 1876 a Rostock, Germania. Cresciuto in una famiglia di artigiani e agricoltori frequenta la scuola tecnica per l'edilizia locale mentre lavora saltuariamente in cantieri e studi tecnici. Fino a 25 anni frequenta il Politecnico di Monaco e successivamente lavora presso lo studio di Martin Dulfer, architetto di grande fama negli ambienti artistici grazie ai teatri costruiti. Nel 1902 insegna alla scuola tecnica superiore Sternberg ma nel 1909 si trasferisce al Politecnico di Dresda come assistente dell'ordinario Martin Dulfer. Insieme a Riemerschmid riceve l'incarico di costruire la prima città-giardino a Hellerau presso Dresda dove in seguito costruì l'istituto per la ginnastica ritmica. Nel 1913 viene chiamato dalla scuola d'arte di Vienna per il settore di Architettura e instaura nuove amicizie nell'ambiente artistico, come Wagner, Hoffmann, Gustav Klimt ecc. Nel 1920 costruisce a Dresda un castello e numerose Siedlungen di case unifamiliari, inoltre progetta gli spazi per l'esposizione artistica internazionale della città, su incarico del Land della Sassonia. Nel 1926 viene nominato ordinario al Politecnico di Berlino e dirigerà il seminario di progettazione architettonica. Nel 1934 termina definitivamente l'incarico come professore ordinario e i rapporti con l'università a causa dei nazisti. Nel 1945 fu nominato dai sovietici professore emerito del Politecnico di Berlino ma negli anni successivi si dedicò esclusivamente ad una progettazione teorica dell'architettura. Morì nel 1950.

---

[1] HEINRICH TESSENOW, *Osservazioni elementari sul costruire* (a cura di Giorgio Grassi), (titolo originale: Hausbau und dergleichen. Woldemar Klein Verlag, Baden-Baden, IV edizione, 1953, I edizione, Berlino, 1916, traduzione italiana di Sonia Gessner), (collana di Architettura diretta da Massimo Scolari), Franco Angeli Edizioni, Milano 1998, p.13.

[2] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.36

attraverso il raggiungimento di un grande numero di individui, creando così una consapevolezza generale dettata da un esigenza collettiva.

Uno dei principi su cui si fonda il lavoro artigianale è quello di costanza, privo di fretta e di sbalzi dettati dall'occasione; senza slancio, ma ininterrotto. Rimane dunque una paziente ricostruzione dell'esperienza in ogni azione ripetuta, un procedere ordinato che ritrova la finezza delle differenze e la trasforma in uniformità impercettibile. Tessenow per spiegare ciò utilizza un semplice ma chiaro esempio *«… un pastore, che nel suo numeroso gregge di pecore grigie cerca di distinguerle l'una dall'altra deve necessariamente tener conto delle sottili differenze che esistono fra le singole pecore; e ne è capace … Assumere l'uniformità vuol dire sviluppare un notevole sensibilità volta in una sola direzione; perché occorre concentrare tutta l'attenzione sulle cose che si assomiglia no per poterne cogliere tutte le sottili differenze; questo è il limite che caratterizza l'uniformità e anche l'ordine»*[3].

La tradizione borghese insieme al lavoro artigianale quindi creano un continuo legame all'interno della società, unendo le disparità evidenti in poche esigenze collettive. La varietà e la presenza di una chiara disparità di esigenze sociali comporta un grado di complessità elevato; per questo motivo alcune norme che la borghesia custodisce nella tradizione diventano essenziali per uno sviluppo positivo del lavoro artigianale. L'importanza si riconosce in alcune caratteristiche tradizionali della borghesia; per esempio nella costanza, nell'impegno, nell'aspirazione all'ordine e al rigore. Questi tratti che sono principi fondamentali della tradizione borghese, rimangono ancora oggi fonte di ispirazione per l'architettura[4].

L'aspirazione odierna è più che mai quella di riconoscere i caratteri unitari e gli obbiettivi più generali del nostro tempo, all'interno di un contesto che sovrabbonda di caratteri individuali e di obbiettivi singolari. Il modo con cui la borghesia custodiva i principi utili a regolare le grandi convergenze e riconoscere gli elementi essenziali della vita o quelli necessari secondo un sistema elementare di scelte era possibile soltanto rinunciando a tutto quanto vi era di secondario o superfluo.
Oggi le caratteristiche della maggior parte dei lavori artigianali sono una manifestazione di varietà formale, come sostiene Tessenow, *«ciò ne mostra anche tutta la sua povertà; oggi la gente sente ancora l'irresistibile fascino di questa varietà, scambiata per un segno di libertà espressiva e di originalità, ed è così che non riesce ad avere ciò che realmente desidera ma qualcosa di estraneo che le viene imposto»*[5] Le abitazioni per questo motivo risultano essere estranee, indifferenti, vuote e senza valore, nonostante le energie e l'impegno impiegato per realizzarle. Tessenow ama affermare quindi, che: «*ciò che è intelligente è anche stupido nella stessa misura in cui ciò che è stupido è anche intelligente; e così per poter essere buoni artigiani noi dobbiamo da un lato aspirare ad elementi certi e definitivi e dall'altro non rinunciare mai al dubbio, almeno tanto quanto non vogliamo rinunciare alla certezza.*» [6]

Risulta dunque essere chiara la partecipazione di limite del consueto la cui parte è composta da fatti concreti e perciò collettivi, e quella di limite individuale che riguarda la traduzione nell'opera di ogni tensione ideale, utile a mostrare l'interesse nel lavoro. L'architettura dunque si concede nel momento in cui queste due parti si fondono in un'unica via, lasciando spazio a momenti di distacco che non fanno perdere veridicità al lavoro artigianale, riconosciuto come fondamento dell'architettura[7].

---

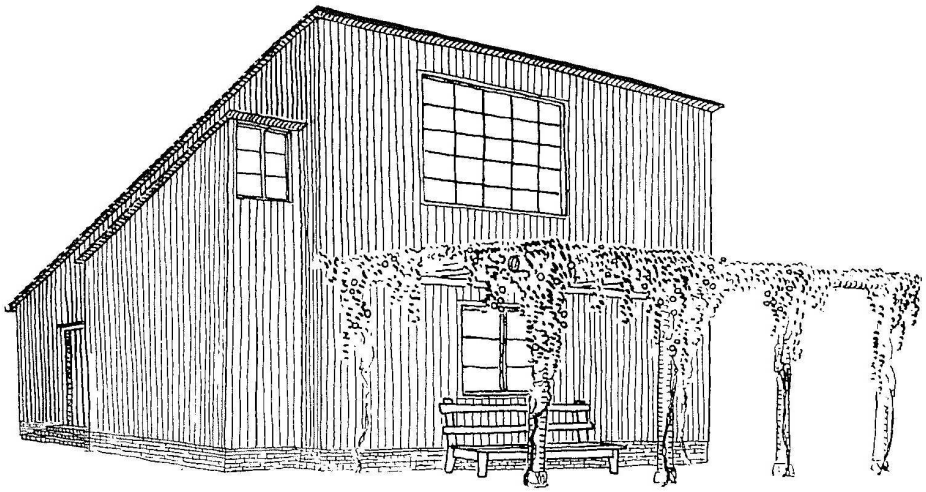
[3] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.36

[4] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.83.

[5] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.84.

[6] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.86.

[7] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.98.



Heinrich Tessenow, prospettiva di progetto Casa atelier Nau-Roser, 1912.

1.1.2 Dal concetto di ornamento a quello di uniformità

L'ornamento, secondo Tessenow è *«una specie di involontario sorriso, capace di rischiare tutta la fatica e la serietà di un duro lavoro»*[8]. Durante la costruzione di un muro di mattoni che segue regole ben precise, quali; l'ordine, l'essenzialità e la necessità, ci sarà una componente intrinseca decorativa che gli appartiene; ma questo risultato sarà ottenuto senza averlo voluto in modo diretto. È quindi chiara l'affermazione che fa Tessenow a riguardo; ci sono obbiettivi da raggiungere per concludere il lavoro che fanno parte del preciso, costante e minuzioso lavoro artigianale, e poi c'è la presenza di caratteristiche secondarie che accompagnano ogni lavoro artigianale: gli ornamenti. Questo è la dimostrazione del fatto che *«a noi sono sempre mancate la capacità intellettuale di discernimento tra ciò che è utile e ciò che è utile all'artigiano per rendere più piacevole il suo lavoro. Si potrebbe dire piuttosto che si tratta di un mezzo lavoro, fatto prima di andare a dormire»*[9].

È quindi utile distinguere da ciò che potrebbe essere confuso l'ornamento, ovvero l'arte. L'arte provoca o cerca di provocare un certo sentimento in chi la osserva, e in essa vengono investite le energie principali per realizzarla, atte appunto a completare un opera comunicativa. L'ornamento invece produce sensazioni sempre indefinibili e casuali, contaminate dagli stimoli di utilità per cui un opera di artigianato è stata realizzata. Tessenow, nella citazione che segue, chiarisce la sua evoluzione nel tempo con una affermazione molto diretta *«[...] ne abbiamo in abbondanza, ma non ne sentiamo l'esigenza; lo facciamo solo perché lo si faceva in passato, non è spontaneo, vuole essere preso sul serio e tutto questo gli nuoce: non ne abbiamo bisogno e non si giustifica»*[10].È chiaro il suo riferimento all'arte e all'ornamento; la prima sarebbe estremamente giustificata in quanto realizzata con unico scopo artistico, la seconda appunto risulterebbe inutile e non giustificata.

L'ornamento esiste però e nasce per amore del lavoro artigianale è dunque non può essere rifiutato; in ogni lavoro è come il *«fischiettare e il nostro canticchiare»*[11], come per il muro di mattoni, che presenta un ornamento non ricercato ma che da un carattere così particolare al modesto lavoro artigianale. È quindi un elemento che non possiamo evitare e che perciò deve essere silenzioso, il più possibile «secondario» alle motivazioni principali di un lavoro artigianale. Da qui si giunge facilmente al concetto di semplificazione formale, caratteristico del lavoro artigianale.

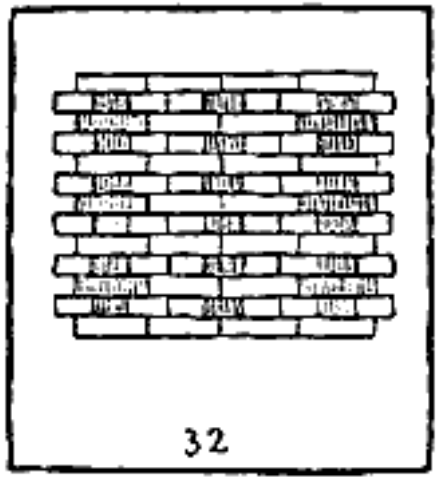
---

[8] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.98

[9] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, pp.124-125.

[10] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.40.

[11] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.40.



Heinrich Tessenow, un esempio di ornamento.

A questo concetto fanno capo altre due azioni necessarie; quella di semplificazione e quella di omissione. L'una designa ciò che viene messo in primo piano e l'altra ciò che viene eliminato, ma è evidente che il processo cui entrambe si riferiscono è il medesimo. Anche la semplificazione formale ha per fine il disvelamento dell'elemento di generalità dell'architettura ed è diretta nel senso di riaffermare il principio di non-contraddizione. Tali azioni decisionali e progettuali sono delle condizioni necessarie del processo artigianale, ed esse non sono estranee al processo architettonico in generale. Infatti: *«affermare che in architettura vi siano dei principi strutturali disconnessi con la scienza delle costruzioni o con le tecniche edilizie – che forse li hanno determinati e che sicuramente fino a un dato momento ne sono stati la spiegazione più certa – equivale a riconoscere l'omissione come uno dei processi di definizione formale propri dell'architettura»*[12].

Tessenow sostiene che questo si tratti di un momento più avanzato, di una fase più evoluta, in cui l'architettura si costituisce come arte autonoma, definita nel tempo insieme alle proprie leggi. Questo affida un ruolo più complesso di quello di mera negazione al termine «omissione»; infatti crea nuovi nessi, nuove relazioni gerarchiche fra gli elementi, che rispecchiano in primo luogo l'autonomia della funzione architettonica[13].

Aspetti essenziali per il lavoro artigianale - oltre alla semplificazione formale- sono quelle di obbiettività e verità, che incidono sul risultato finale in maniera più caratteristica e riconoscibile sul prodotto finale. Per spiegare il concetto di verità si potrebbe prendere come esempio l'unione delle tavole per realizzare una porta; l'inchiodatura, ad esempio seguendo questo principio deve onestamente mostrarsi, e palesare dove i chiodi hanno oltrepassato la tavola, scheggiandola. Quindi nel lavoro quotidiano o artigianale si riconosce l'importanza della verità nel suo complesso; ovvero una verità che non si perde nel mostrare tutti i dettagli e tutta la storia del lavoro ma che lascia intendere nella sua totalità la sua autenticità[14].

La razionalità che accompagna la realizzazione di un opera artigianale o architettonica è tipica del lavoro collettivo in bottega o del laboratorio di architettura. È quindi necessaria una tensione fissa, cioè quella di rendere razionale il processo di progetto, in modo che ogni posizione, ogni ruolo all'interno del laboratorio abbia una risposta confrontabile. Questo sarà un processo non sempre lineare, e la logica per organizzare i concetti astratti – come quelli di ordine o di verità sul piano formale

[12] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.45.

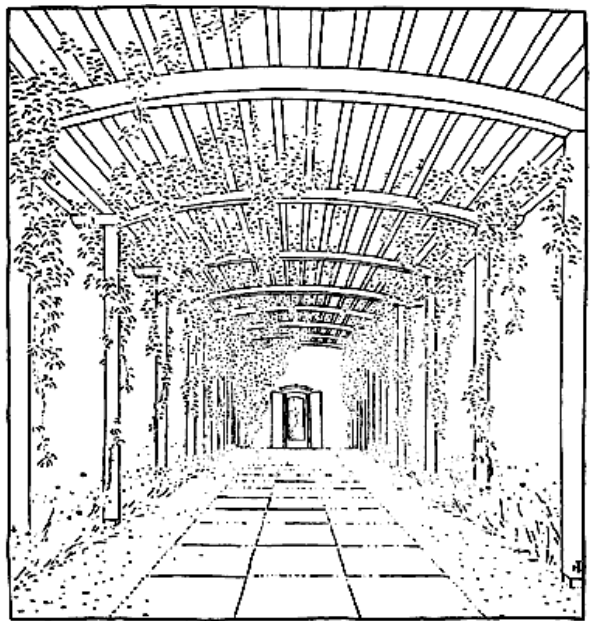
[13] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.46.

[14] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.96.

– dovranno essere visti come cose concrete o esperienze, così come le tecniche o i modi costruttivi. La certezza di ciò, viene riconosciuta attraverso la storia e nell'esperienza di altri soggetti artigiani che hanno tramandato con il loro metodico procedere un senso sempre più netto alle cose[15].

Un sistema ordinato di riferimento dunque, risulta essere sempre più o meno insufficiente perché in difetto nei confronti di tutto ciò che di nuovo succede; quindi risulta essere necessaria una flessibilità nella meticolosità artigianale, per adattare il nuovo al vecchio. L'impegno di dare un ordine alle cose, riconosce di non avere la forza necessaria per comprenderle tutte e in tutti i suoi aspetti; è quindi quasi fondamentale accettare con rassegnazione le approssimazioni del lavoro artigianale. Pare evidente però che la costruzione di strade, ponti, case, mobili, possiede sempre qualcosa di approssimato ed è proprio per questo che ha bisogno di ricorrere a un sistema ordinato di riferimento, utile nelle fasi di progettazione e realizzazione[16].

Gli elementi e le componenti che compongono un opera artigianale o un' architettura sono strettamente legati a ciò che è lo strumento tecnico con cui vengono prodotti, ed è anche per questo che tutto si tramuta in un essenziale sistema di riferimento che regola direttamente la forma dell'oggetto artigianale. È quindi necessario che nella fabbrica, l'uomo accanto alla macchina accetti le sue caratteristiche essenziali, senza ostacolarla con elementi che le sono totalmente estranei[17].La forma essenziale dell'oggetto risulta da una ricerca rigorosa, atta a individuare aspetti ambientali, organizzativi e tecnologici propri di tutto il processo architettonico organizzato. Tutto questo si ripercuote nella ripetizione



Heinrich Tessenow, un esempio di ripetizione.

dell'oggetto, sviluppato grazie ad un processo di semplificazione formale e direzione delle scelte. La preparazione puramente scolastica della progettazione rappresenta una scelta di approssimazione che darà impulso al lavoro artigianale, quest'ultimo si farà carico di tutto quel processo di ricerca e discernimento delle forme, utile ad una realizzazione coerente con la tecnica[18].

È utile considerare a questo punto ciò che rappresenta il lavoro artigianale sul piano economico, per tener conto anche di questo risvolto, niente affatto trascurabile è utile introdurre il contributo di una normativa unificante. Ispirarsi a quegli elementi essenziali che, come tali, si

[15] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.4.

[16] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.94.

[17] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.86.

[18] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.96.

ripetono, rinunciando quindi alle soluzioni più individuali e più originali nella costruzione e nella distribuzione delle case ripetendo invece pochi tipi edilizi sempre uguali, comporterebbe sul nostro tenore di vita un vantaggio non indifferente rispetto alla situazione attuale. Una scatola di fiammiferi verrebbe a costare infatti molto di più se per disavventura considerassimo importante che ogni singolo fiammifero, compresa la scatola, dovesse essere realizzato in modi differenti secondo particolari progetti. È quindi necessario applicare un uniformità su vasta scala, ogni volta che nel lavoro ci appare evidente ciò che è puramente necessario e «simile» ad altre componenti che svolgono la stessa funzione; la dimensione del telaio di una finestra, etc.. Nel tempo la produzione artigianale che ci ha preceduto ha deposto a favore di questa uniformità e dimostra che essa può facilmente essere applicata, attraverso l'individuazione di ciò che è strettamente necessario.

Una produzione solida e avanzata, pone in secondo piano le sfumature che non sono la cosa più importante, nemmeno per quanto riguarda la scelta degli strumenti di lavoro; l'uniformità comporta necessariamente delle sfumature, soltanto là dove essa corrisponde a ciò che è necessario; come per le vetture tranviarie, che sono uguali fra loro perché se fossero una diversa dall'altra risulterebbe più costoso realizzarle. Dunque l'uniformità viene accettata ostacolando le trasformazioni, e spinge la sua ragione d'essere a una motivazione valida ben precisa; e questo effetto che l'uniformità esercita sulla nostra sensibilità garantisce la sua permanenza ancor prima delle considerazioni di carattere economico che di fatto ne hanno determinata l'esistenza[19].

Quindi l'uniformità è positiva se l'elemento ripetuto è quello giusto e essenziale; questo rimane un obbiettivo molto difficile da raggiungere, che nonostante la sua importanza, è ostacolato dall'incertezza che si prova di fronte all'ordine, alla ripetizione, all'uniformità in quanto tali. Essi però rappresentano gli strumenti di lavoro più giusti e più efficaci dato che un buon lavoro artigianale teme sempre l'originalità, e non ciò che è consueto, ripetitivo dato che porta sempre con sé la sua spiegazione[20].

L'atteggiamento tipico dell'artigianato, utilizza la pulizia e la semplicità come strumento, per raggiunge un livello di validità collettiva atta a favorirne il suo sviluppo. In ogni lavoro artigianale questo atteggiamento è difficile da sostenere per quanto riguarda la forma complessiva e le eventuali sovrapposizioni, per via dei condizionamenti esterni e delle limitazioni cui sottostanno tali lavori, che condizionano per esempio le relazioni tecnologico-formali tra le parti. Nella gran parte dei casi si tende a identificare la semplicità con la povertà, anche se esse non hanno nulla in comune; perché la semplicità *«può rappresentare la più grande ricchezza, così come la varietà formale di cui disponiamo può rivelarsi come la più grande povertà»*[21].

---

[19] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.97.
«tutto è buio, tutto è fosco,
quando il mio amore non è con me,
io credevo ch'ella mi amasse,
ma no
ma no
ma no
ma no
ella mi odia»
Una poesia scritta da Heinrich T. per mostrare la ricchezza espressiva della ripetizione.

[20] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.113.

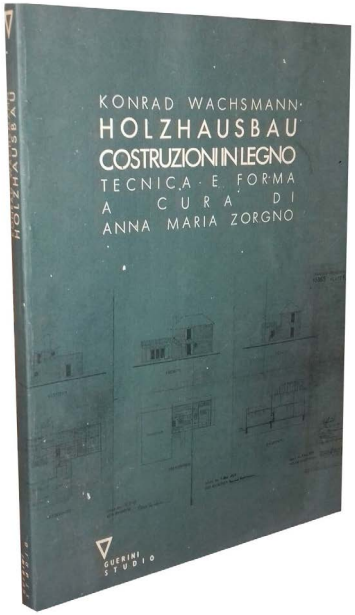
[21] HEINRICH TESSENOW, *op. cit.*, p.109.

1.2 La prefabbricazione in «Holzhausbau» di Konrad Wachsmann

1.2.1 Il nuovo ruolo dell'artigiano

«L'origine del Movimento Moderno – scriveva Marcel Breuer nel 1934 – non fu tecnologica perché la tecnologia era stata sviluppata molto tempo prima [...]. Ciò che la nuova architettura fece fu di civilizzare la tecnologia»[22]*;* Questo significava il superamento dell'originario aspetto che la tecnologia aveva, ovvero quello di essere in fondamentale opposizione alle ragioni culturali. L'obbiettivo era quello di dare un nuovo spessore intellettuale a quella manualità costruttiva con la quale l'uomo artigiano ha sempre realizzato la propria casa. Da qui si sviluppa l'arte del costruire in legno; caratterizzata da discontinuità di misura all'interno di un coordinamento dimensionale, che permetteva di applicare, entro una precisa tradizione culturale, il talento dell'artigiano. Il nuovo ruolo dell'artigiano gli permetteva di esprimersi sui sistemi di assemblaggio, sulle possibilità di adattamento e di variazione dei dettagli, anche decorativi. Tutto questo era frutto di una tradizione solida tramandata dalla borghesia che gli permetteva di riproporre la ripetizione delle procedure, l'imitazione e la memorizzazione dei gesti. Il valore pratico si tramutava quindi in valore intellettuale utile alla definizione di procedimenti costruttivi intrinsechi alla progettazione[23].

L'esempio lampante che Hennebique conduce sulle costruzioni in calcestruzzo armato sarà proprio l'«esprit de charpente » ovvero la capacità di scomporre e ricomporre il sistema costruttivo già durante le fasi



Breve biografia Konrad Wachsmann

Nato a Francoforte sull'Oder il 16 maggio 1901. Studia con H. Poelzig nella scuola di Arte applicata di Berlino, è allievo di H. Tessenow al Politecnico di Dresda dove impegna gran parte allo studio su temi di ordine tecnologico e strutturale. Dal 1924 al 1927 è assistente di Poelzig all'Accademia di Berlino, le sue ricerche lo portarono, in seguito, a divenire architetto capo della fabbrica di strutture in legno Cristoph & Unmack. Nel 1932 costruisce la casa Einstein a Berlino, lavora a Roma dal 1934 al 1938, e costruisce case d'abitazione in acciaio e cemento armato, pur sempre legate alle precedenti esperienze berlinesi di costruzioni in legno. Nel 1941 torna ad occuparsi di strutture in legno negli Stati Uniti e inizia una collaborazione con W. Gropius fino al 1948. Insieme a W.Gropius fonda la General Panel Corporation, per la quale realizzò la prima officina completamente autonoma per la produzione di elementi costruttivi prefabbricati. Nel 1950 concretizza il sistema di prefabbricazione per la Mobilar Structure. Sempre nel 1950 viene nominato professore all'Illinois Institute of Technology; dove dedica il suo tempo all'attività didattica, Ritorna alla progettazione con l'Hangar U. S. Air Force fino al 1953. Viene incaricato dal governo americano per il coordinamento metodico dell'industria edilizia. Il suo pensiero di teorico dell'architettura è raccolto nel libro Wendepunkt im Bauen (Wiesbaden 1959; trad. it. Una svolta nelle costruzioni, Milano 1960), dove vengono riportate anche le esperienze didattiche europee, prima fra tutte la Hochschüle für Gestaltung di Ulm. Tra le più importanti proposte architettoniche di Wachsmann c'è l'utilizzo di elementi modulari perciò teoricamente combinabili all'infinito che dànno vita all'architettura "infinita". Tale proposta si basa essenzialmente sui due postulati: l'architettura moderna tende a eliminare il "monumentale"; la tecnica delle costruzioni dev'essere quella che la società contemporanea ha elaborato per adempiere a esigenze collettive. In altre parole, bisogna acquisire nel campo dell'edilizia le tecniche della produzione industriale. Si viene così a definire il concetto di standardizzazione strutturale, ossia la ricerca di un minimo spaziale in grado di costruire tutto lo spazio.

---

[22] ANNA MARIA ZORGNO (a cura di), *Konrad Wachsmann, Costruzioni in legno tecnica e forma*, (titolo originale: *Holzhausbau*, Ernst Wasmuth Verlag, Judith Wachsmann 1930, traduzione dal tedesco di Marco Trisciuoglio), Edizioni Angelo Guerini e Associati, Milano 1992.

[23] ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*

progettuali.[24] L'obbiettivo era quello di mostrare l'opportunità che uno standard progettuale e costruttivo insieme potesse avere per le opere in calcestruzzo armato.

I primi decenni del Novecento risultano essere fondamentali per le costruzioni in legno. Infatti per la prima volta compare il processo di meccanizzazione per la produzione di componenti in legno per l'architettura[25]. È qui che faranno eco le importanti esperienze dell'artigiano, per la costruzione di edifici in legno, dove ci sarà l'opportunità di ricorrere a processi e metodi per una produzione industriale razionalizzata di elementi e componenti costruttivi. È dunque doveroso citare quanto sosteneva W. Gropius in merito al ruolo che l'artigiano intraprendeva grazie alla meccanizzazione dei processi produttivi: «*Artigianato e industria si stanno costantemente avvicinando. L'artigiano del passato ha subito profonde trasformazioni: l'artigiano del futuro sarà assorbito in una nuova unità di lavoro produttivo, in cui gli sarà affidato il lavoro di ricerca e di sperimentazione che precederà la produzione industriale. Le ricerche di carattere speculativo condotte nelle officine-laboratorio creeranno modelli standard per la produzione nelle fabbriche.*»[26]

Con queste parole Gropius sottolinea come l'insegnamento di un mestiere artigianale sia inteso a preparare alla progettazione di prodotti di massa tipici dell'industrializzazione; gli strumenti semplici utilizzati dagli artigiani permettono di padroneggiare con grande maestria i problemi più complicati e di saperli risolvere.

È dunque l'esperienza con la tecnica e con il materiale che consentirebbe all'artigiano di saper lavorare con macchine più sofisticate, conoscendone il loro funzionamento, la qualità del prodotto e le fasi necessarie di tutto il processo. Il ruolo dell'artigiano muta e si evolve in progettista che adopera saggiamente le proprie conoscenze tecnologiche[27].

È utile citare ciò che Konrad Wachsmann dice a Berlino nell' ottobre 1930, per capire meglio cosa ha comportato in quegli anni l'introduzione della machina per la produzione di componenti in legno in architettura: «*Sono le macchine nella fabbrica e non la bottega artigiana a produrre oggi l'edificio in legno. L'antica, perfezionata arte dell'artigianato, entra nella moderna tecnica delle macchine. Qui trova nuove possibilità di impiego, nuove forme. Il legno come elemento costruttivo lavorato alla maniera dei carpentieri non risponde più a tutte le esigenze di produzione e di stabilità strutturale. Al contrario, come materiale prodotto in fabbrica, lavorato dalle macchine, esso assume dal punto di vista tecnico ed economico la stessa importanza di ogni altro materiale da costruzione.*

Ogni costruzione che sia tecnicamente corretta ha la propria forma caratteristica. Perciò il nuovo metodo di lavorazione del legno muta anche l'aspetto esteriore dell'opera costruita. Non può che nascere una forma nuova. Questa si accorda ben poco con l'idea che comunemente si ha del «edificio in legno». Si tratta al contrario dell'organico e ulteriore sviluppo dell'arte secolare del costruire con il legno.»[28] Dunque un nuovo mezzo, un nuovo principio del costruire che porta un cambiamento nel modo di guardare al costruire; l'antica arte del costruire muta in nuove possibilità d'impiego.

1.2.2 Konrad Wachsmann e la creazione di strumenti di progetto

Il testo di Konrad Wachsmann, Holzhausbau, rappresenta la testimonianza, dei modi e dei tempi con i quali l'industrializzazione incominciò consapevolmente a incunearsi nell'arte del costruire, proprio partendo da un materiale che fino a quegli anni, non solo in territorio tedesco,

[24] Capacità ha maturate nel corso di alcune esperienze copiute agli inizi della sua attività, in qualità di carpentiere restauratore, in alcune cattedrali gotiche del nord della Francia.

[25] Processo già presente nei primi anni del secolo nel microcosmo artigianale, per la produzione di mobili.

[26] Walter Gropius in, ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*, p.39.

[27] ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*, p.50.

[28] ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*, p.61.

Esterno della casa di A.Einstein, progettata da K.Wachsmann nel 1936.

si era conservato strettamente all'artigianato e dell'architettura[29]. La diversa chiave di lettura, che propone rivela inattesi risvolti delle radici dell'attuale *«Tecnologia dell'architettura»*.

La figura di professionista che Holzhausbau propone di Wachsmann è di un tecnico esperto che coordina, progetta, gestisce i rapporti tra produzione, progetto e ricerca, apportando, importanti innovazioni, al catalogo proposto dalla ditta con cui collabora non in base alle tipologie edilizie, ma ai componenti costruttivi *«standard»* che compongono l'intero fabbricato edilizio. Wachsmann ripercorre il ruolo di creatore di veri strumenti per il progetto, sorretti da uno spirito di indagine e da una precisa volontà ideazione a stretto contatto con quello che è il contesto aziendale in cui opera[30]. Lo stimolo ideativo di Wachsmann ricerca caratteristiche vicine all'essenzialità, rapidità di montaggio e smontaggio, economicità e chiarezza strutturale; considerazioni enunciate precedentemente da Quatremère per definire in generale tutte le costruzioni in legno[31].

La soluzione «matematica», cioè seriale e industrializzata che Wachsmann propone al problema, dell'uso e del significato del legno nella costruzione di architetture, è senza clamore e senza soverchie implicazioni ideologiche né volontà culturali ed estetiche. Denuncia infatti uno spirito totalmente funzionalista e razionalista insito nella logica, molto ottimistica e semplificata, della produzione industriale del suo tempo, che già erano state d'impulso per Loos, durante le prime esperienze del Werkbund. Un completo distacco dalle «arti applicate», che erano assenti nelle più grandi industrie del tempo, si tramutava in uno stile rappresentato dai prodotti delle industrie del tempo[32].

L'azienda dove Wachsmann forma e sviluppa il suo lavoro è la Christoph & Unmack.[33] L'azienda a seguito dell'acquisto dei diritti del sistema Doecker-Bauten, inizia a produrre baracche in legno costituite da un ossatura portante in legno o ferro, tamponata con pannelli di parete, solaio e copertura. I collegamenti delle parti erano costituiti da connessioni metalliche semplici, ingegnose e standardizzate; che erano formate da ganci uncinati, bulloni e dadi flangiati predisposti presto per la giunzione di elementi modulari.

L'ideazione di questo sistema aveva obbiettivi strettamente legati alla facilità realizzativa; doveva essere appunto una costruzione facilmen-

[29] ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*, p.14.

[30] ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*, p.15.

[31] ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*, p.20.

[32] ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*, p.25.

[33] Nata come laboratorio artigiano di falegnameria per la costruzione di mobili a partire dal 1869 a Copenhagen fra Cristian Ferdinand Christoph e l'architetto Christian Rudolf Unmack.

te trasportabile, montabile e smontabile. A seguito della prima guerra mondiale la costruzione di baracche ad uso militare fu soverchiata da un programma di espansione aziendale che aveva come obbiettivo il raggiungimento dell'edilizia residenziale. La Christoph & Unmack dunque si indirizza verso gli impieghi civili dei sistemi costruttivi in legno che era stata in grado di mettere a punto negli anni precedenti[34].

L'arrivo di Wachsmann alla Christoph & Unmack, introdotto nel 1925 dal maestro e amico Poelzig alla Christoph & Unmack, Wachsmann – che aveva allora venticinque anni - si trovò d'improvviso coinvolto, senza alcuna teoria precostituita, nei veri problemi che la produzione dei componenti e di sistemi modulari e standardizzati poneva al progetto, in particolare al progetto di architettura (già marcatamente segnato dalle vicende ideologiche del rapporto tra artigianato-industria). Che aveva imposto la propria produzione di costruzioni in legno prefabbricate, fu segnato dall'esperienza che fece per lo sviluppo tecnico e compositivo al sistema a pareti in tavolato, impostato su una semplice maglia modulare di elementi lignei, collegati a formare un telaio autoportante. L'architettura di questo sistema si basava su linee semplici e su articolazioni elementari tra le parti, tali aspetti erano dettati concretamente da una conseguenza necessaria della rigida modularità generata dal processo produttivo, e del carattere ripetitivo che gli elementi costruttivi assumevano, ipotizzata da una possibile estensione del processo.

Il contributo che Wachsmann quindi diede fu quello di dover organizzare le fasi caratteristiche di una progettazione «standard», ponendo come linee di ricerca progettuale quelle che erano in stretta relazione con i processi di produzione e di messa in opera[35]. Ben presto la Christoph & Unmack mise sul mercato non più un inventario di tipologie funzionali, ma bensì un sistema articolato di componenti «standard», da combinare liberamente tra di loro.

Tecnicamente Wachsmann adottò una base modulare per la presentazione dei diversi componenti, e propose una griglia a maglie quadrate sulla quale professionisti e committenti erano invitati a fermare le loro idee progettuali[36]. Questa unificazione non avvenne più per grandi categorie tipologiche e formali, ma per codici che governavano la proporzionalità delle parti dell'edificio, una progressione di multipli e di sottomultipli costruttivi, che si intrecciava in linee e snodi che seguivano un principio interno di organizzazione geometrica e dinamica.

Il tutto si adattava alle possibilità offerte dal materiali utilizzato e dalle dimensioni e caratteristiche plastico-funzionali che l'oggetto architettonico aveva, sia in piccola che grande scala.

Dunque la relazione che Wachsmann fa tra struttura-funzione-forma appartiene ad una nuova e stimolante concezione della prassi costruttiva. Una pratica che si articola in dodici categorie modulari (modulo del materiale, del rendimento, della geometria, del movimento, della costruzione, degli elementi, dei collegamenti, delle componenti, della tolleranza, degli impianti, dell'arredamento, della progettazione), ricavate però da una divisione di compiti e non dall'applicazione di regole proporzionali che determinavano dimensioni di riferimento. Il tutto si manifestava in punti, linee, superfici e corpi dai quali o in relazione ai quali risultavano le dimensioni definitive dei prodotti[37].

---

[34] ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*, p.44.

[35] ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*, p.48.

[36] ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*, p.49.

[37] ANNA MARIA ZORGNO, *op. cit.*, p.11.

1.3 Giuseppe ciribini e il coordinamento modulare della prefabricazione pesante

Gli studi di Giuseppe Ciribini durante il dopoguerra costituiscono un contributo fondamentale ai temi della prefabbricazione e industrializzazione edilizia. La *prefabbricazione aperta* e il *componenting* saranno le linee guida generali del prof. Ciribini allo sviluppo di questi temi[38]. Il temrine prefabbricazione aperta viene così definito dallo stesso Ciribini: «progettare e costruire combinando liberamente parti della costruzione prodotte industrialmente ed altrettanto liberamente scelte fra quante un mercato può offrire»[39].

La promozione e lo studio dei problemi teorici e pratici legati alla relazione tra processo progettuale e produttivo dell'abitazione vengono sviluppati all'interno all'interno del Cnr (Consiglio Nazionale delle Ricerche per la soluzione del problema della Casa), il direttore del centro, lo stesso Ciribini orienta i temi del programma di studi verso l'affermazione, lo sviluppo della progettazione integrale e dell'industrializzazione della costruzione[40].Tali intenzioni non attuate all'intenro del Cnr saranno poi sviluppate all'interno del Centro per la Ricerca Applicata ai Problemi dell'Edilizia Residenziale (Craper) fondato a Milano nel 1955.

L'opera architettonica si avvale della tecnica del lavoro e della produzione come mezzi per il suo raggiungimento. L'armonia tra questi strumenti dovrà perciò essere indirizzata da chi «ha la visione completa del fine, l'architetto; cioè, da colui che, nel proprio ambito, si sforza di giungere dall'incertezza alla percezione al chiaro possesso della cogni-

Breve biografia Giuseppe Ciribini

Nasce il 20 gennaio 1913 a Milano e si laurea in ingegneria civile al Politecnico di Milano nel 1936 con la tesi intitolata "Genesi e sviluppi dell'abitazione rustica italiana nel quadro dell'architettura rustica mediterranea". All'interno del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Milano analizza i problemi e le possibili applicazioni dell'industria per la ricostruzione edilizia del paese. Nel 1948 viene nominato professore ordinario di Elementi Costruttivi presso il Politecnico di Milano. Nel 1951 partecipa alla fondazione dell'indirizzo "Industrializzazione della costruzione" inaugurato da Konrad Wachsmann, dove insegna per due anni "Teoria e tecnica della produzione edilizia" e "Lineamenti di tecnica della produzione edilizia". Dal 1955 al 1961 guida il "Comitato Italiano per la produttività edilizia" che diede atto alla prima iniziativa organica nel campo della sperimentazione edilizia. Nel 1961 presso l'ateneo di Milano, diventa titolare della materia "Ergotecnica" disciplina che regola l'organizzazione del lavoro, dei tempi e del personale. Nel 1963 ricopre il ruolo di professore all'interno del Politecnico di Torino e insegna "Elementi Costruttivi" e "Tecnologia dell'Architettura". Nel 1964 gli viene assegnato il titolo di Commendatore dell'Ordine al merito della Repubblica Italiana. Fino al 1988 rimane direttore del dipartimento di Progettazione Architettonica nel quale affina la ricerca sui temi della standardizzazione edilizia, coordinazione modulare e tecnologia dell'architettura. Nel 1984 riceve la medaglia d'oro ai Benemeriti della scuola, della cultura e dell'arte. Nel 1989 gli viene conferito il titolo di professore emerito. Muore il 24 Luglio del 1990.

---

[32] DANIELA BOSIA, L'opera di Giuseppe Ciribini, (collana Ricerche di tecnologia dell'architettura), Franco Angeli Edizioni, Milano 2013

[39] DANIELA BOSIA, *op. cit.*, p.39.

[40] DANIELA BOSIA, *op. cit.*, p.41.

zione spirituale»[41]. Conseguentemente è doveroso affermare il ruolo di ordinatore e coordinatore di tutte le attività teoriche e pratiche che l'architetto svolge, e dunque dell'applicazione in modo coerente sia del disengo generale dell'opera architettonica che a tutto ciò che ha attinenza con la sua esecuzione.

Il tema della normazione riveste un ruolo centrale in ambito industriale *e* per la sua delicatezza e ampiezza risulta fondamentale l'intervento della figura dell'architetto. L'applicabilità pratica del coordinamento modulare in architettura ritrova però ostacoli psicologici come dichiara Paquet durante le runioni del Comitato tecnico di Parigi, ma l'urgenza delle teorie produttivistiche forzerà ad agire verso una ricongiunzione tra le parti progettuali e produttive[42].

L'obbiettivo di una normazione è dunque una semplificazione del lavoro rivolta alla sistematizzazione delle fasi operative e delle loro suddivisioni, permettendo una massima efficacia, riducendo l'impiego di tempo, energia e materiali. Perciò si perviene, appunto una profonda azione di razionalizzazione dei procedimenti di prefabbricazione volti ad una semplificazione dei movimenti e dei tempi di lavorazione. L'alto grado di produttività come sottolineato dal British Productivity Council sta in questi tre principali fattori legati alla normazione:

- La riduzione oculata e deliberata della varietà di prodotti, studiati per la fabbricazione di serie.

- La specificazione di particolari elementi in base a criteri costanti

- La concentrazione dell'attività fabbricativa su una gamma più ristretta di oggetti.

Questi fattori determinano, a loro volta, le altre condizioni necessarie per una offerta di prodotti di qualità a bassi costi unitarti, ossia la produzione di massa e l'elevata utilizzaizone dei macchinari utili alla produzione per un migliore ammortamento. *"Il Partenone è un prodotto di selezione applicato ad uno standard: l'architettura procede per standards"* (Le Corbusier).

Attraverso il Progetto Edilizio Sperimentale - a cui era affidato il compito di sviluppare i principali temi di studio e indagine sui problemi di organizzazione produttiva dell'edilizia - si potranno elaborar le quattro fasi del Progetto sperimentale:

- La prima prevedeva la "stabilizzaizone delle variabili di disegno", attuata in fase pre progettuale tramite procedure di standirdazione e coordinamento modulare. «La standirdazione del prodotto e di alcune attrezzature influenza non soltanto l'azione progettuale e produttiva, ma anche la distribuzione (stoccaggio, imballaggio e conservazione, trasporto);

- la seconda verte sulla "stabilizzaizone delle variabili operative" ovvero la fase di cantiere in tutti i suoi aspetti; metodi, tempi, posa, attrezzature;

- la terza è la "pianificazione progettuale" e pone come obbiettivo la stabilizzazione preventiva dei prodotti, attrezzature e procedimenti esecutivi. In questa fase è necessario distinguere i procedimenti di trasformazione da quelli di di montaggio, agevlando così lo studio dell'incidenza della progettazione modulare;

- la "pianificazione operativa" è lo strumento inteso a definire razionallmente e univocamente la natura, sequenza e modalità delle operazioni.

[41] DANIELA BOSIA, *op. cit.*, p.43.

[42] DANIELA BOSIA, *op. cit.*, p.45.

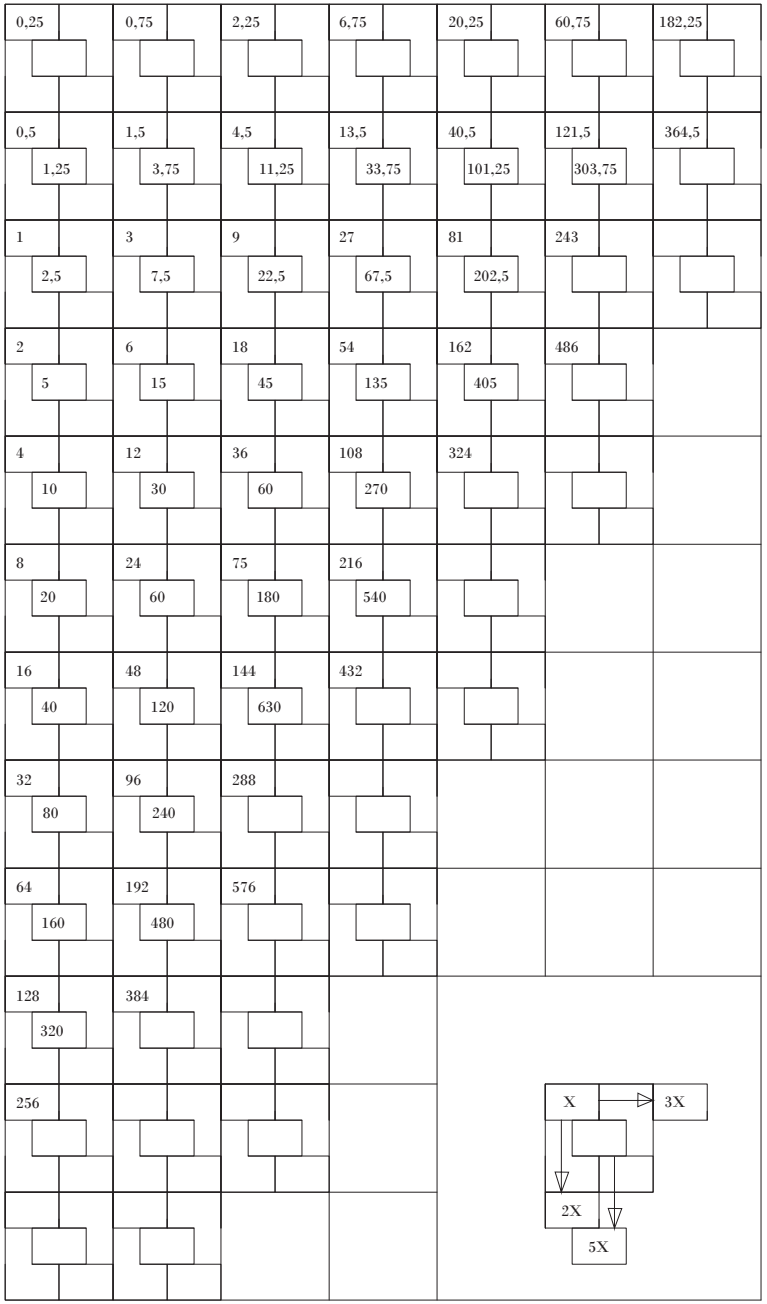
1.3.1 Il coordinamento modulare delle componenti

Giuseppe Ciribini in una nota pubblicata su *Stile e industria,* sintetizza così i caratteri fondamentali del coordinamento modulare:

" *Il coordinamento dimensionale è visto nel quadro dell'azione normalizzatrice come il mezzo più sistematico e più efficace ai fini dell'integrazione dimensionale degli standard di prodotto. Si forma così un tutto organico atto a inserirsi in modo conveniente in potenziali contesti architettonici anzichè avere una catena di episodi staccati e reciprocamente indifferenti.*

Il sistema di coordinamento, quindi, nell'interesse del produttore deve essere in grado di provvedere una scelta limitata di grandezze da assegnarsi agli oggetti fabbricati. Al contempo deve assicurare al progettista la più larga posibilità di carattere combinatorio relativa agli oggetti stessi.

L'apparente contraddizione dei termini precedenti è risolta attraverso mezzi appropriati di ricerca, da parte del produttore, delle varietà limiti. Stabilendo quindi un equilibrio fra le minime misure della varietà dimensionale degli standard e i gradi di libertà compositiva degli stessi in modo sufficientemente elevato per consentire ogni corretta attività inventiva. A queste esigenze la coordinazione modulare mediante strumenti matematici appropriati provvede definendo un modulo base e una sequenza normale serie di multipli interi del modulo base). Questi vengono offerti al designer di prodotto, per la scelta della varietà dimensionale più conveniente degli oggetti edilizi e, infine, dettando regole per la correlazione fra dimensioni teoriche e dimensioni efettive negli accoppiamenti."[43]



[43] DANIELA BOSIA, *op. cit.*, p.68.

A lato il ridisegno della tabella raffigurante la scala normale di grandezze correlate. Elaborata da un apposito gruppo di lavoro dell'O.E.C.E, appositamente per il coordinamento modulare delle dimensioni.

Il tema del coordinamento modulare come visto nei sotto capitoli precedenti era già stato posto in esame da Walter Gropius negli anni antecedenti alla seconda guerra mondial. Nel 1954 però fu oggeto di studio sistemantico da parte dell'Agenzia Europea per la Produttività (Aep), mediante il progetto "AEP" a cui parteciparono undici nazioni, tra cui l'italia, che era rappresentata dal Craper.

Il discorso della coordinazione dimensionale si lega formtemente a quello di industrializzaizone delle costruzioni nelle differenti fasi; progettazione, produzione, distribuzione e messa in opera, e tende a sistematizzare la forma degli elementi della costruzione destinati ad essere connessi fra di loro, garantendo requisiti di intercambiailità e combinabilità, ovunque essi siano prodotti. Metodologicamente il metodo si definisce in tre modi:

- un *sistema di grandezze-campione* coordinate e utilizzabili come dimensioni comuni su cui fare riferimento per i termini di accoppiamento

- un sistema di regole s*oprassedenti ai problemi di accoppiamento* e di tolleranza negli accoppiamneti

- un sistema per il *controllo dimensionale della produzione*

Dunque tale strumento non si attiene solamente ad una questione di proporzioni architettoniche compositive ma, si inserisce nel principio produttivo industriale della costruzione di relazioni tra le componenti edilizie prodotte o da produrre. Tale modello per essere funzionante, e per generare relazioni tra le componenti effettivamente costruibili, deve essere integrato con modelli che regolano gli aspetti funzionali e meccanici dei collegamenti tra i componenti ai fini della realizzazione di un organismo architettonico.

Dunque la struttura condizionata ad un coordinamento delle dimensioni diventa il tratto costitutivo dell'architettura in tutte le sue fasi. Il complesso organico condizionato nelle parti tramite dei modelli modulari incrementali e ripetitivi svela la natura delle sue componenti che risultano generare un armonico accostamento.

Il sub sistema della struttura correlatrice dell'induztrializzazione è dunque una griglia modulare utilizzata come modello regolatore, come strumento guida fin dalle prime fasi progettuali. Essa guida i rapporti di dipendenza delle grandezze dimensionali fra di loro attraverso l'integrazione di modelli che implementano gli aspetti funzionali e meccanici dell'organismo architettonico.

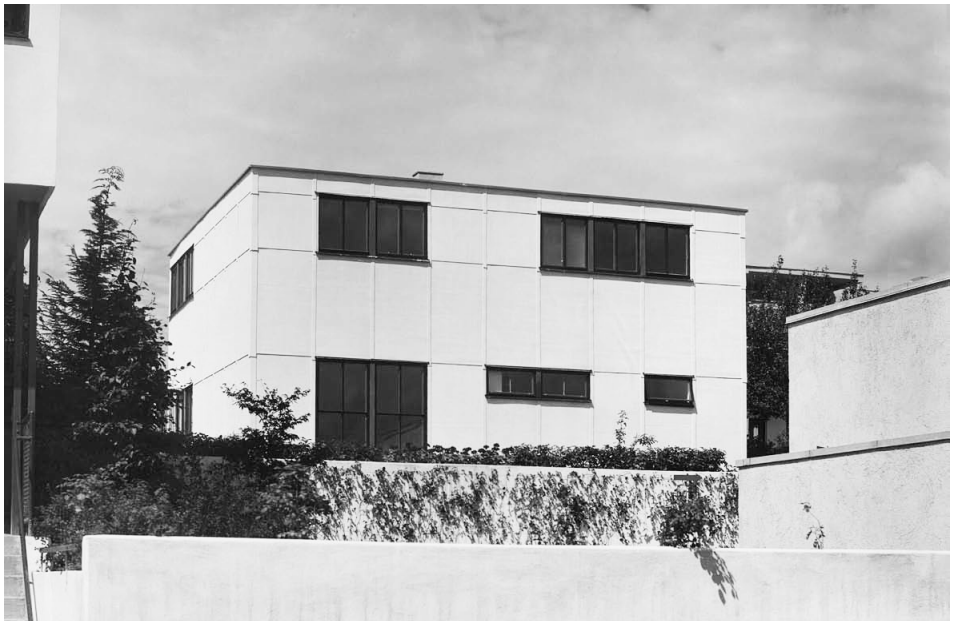
Dunque il principio modulare non è, allora una circostanza sufficiente a regolare le relazioni e le interazioni fra i vari organi di un fabbricato edilizio, ma costituisce, per queste relazioni una verifica teorica delle relazioni complessive [44].

[44] DANIELA BOSIA, *op. cit.*, p.66.

1.3.2 W.Gropius e il coordinamento modulare nel Weissenhof [45]

"L'efficienza si misura in tutti i campi della nostra vita, e non si ferma dove l'edilizia ha problemi. Le condizioni economiche ci proibiscono oggi quasi ogni spreco, quindi bisogna raggiungere il massimo risultato con il minimo dei mezzi, richiedendo l'implementazione di tali materiali e applicazioni tecnologiche che faranno strada per abbassare i costi degli edifici, che guidi a una semplificazione per le famiglie e al miglioramento dei mezzi di sostentamento".

(Peter Bruckmann presidente della Deutscher Werkbund, giugno 1925.)



Vista dall'esterno della Casa unifamialiare n°17, Stuttgart, Weißenhof, 1927.

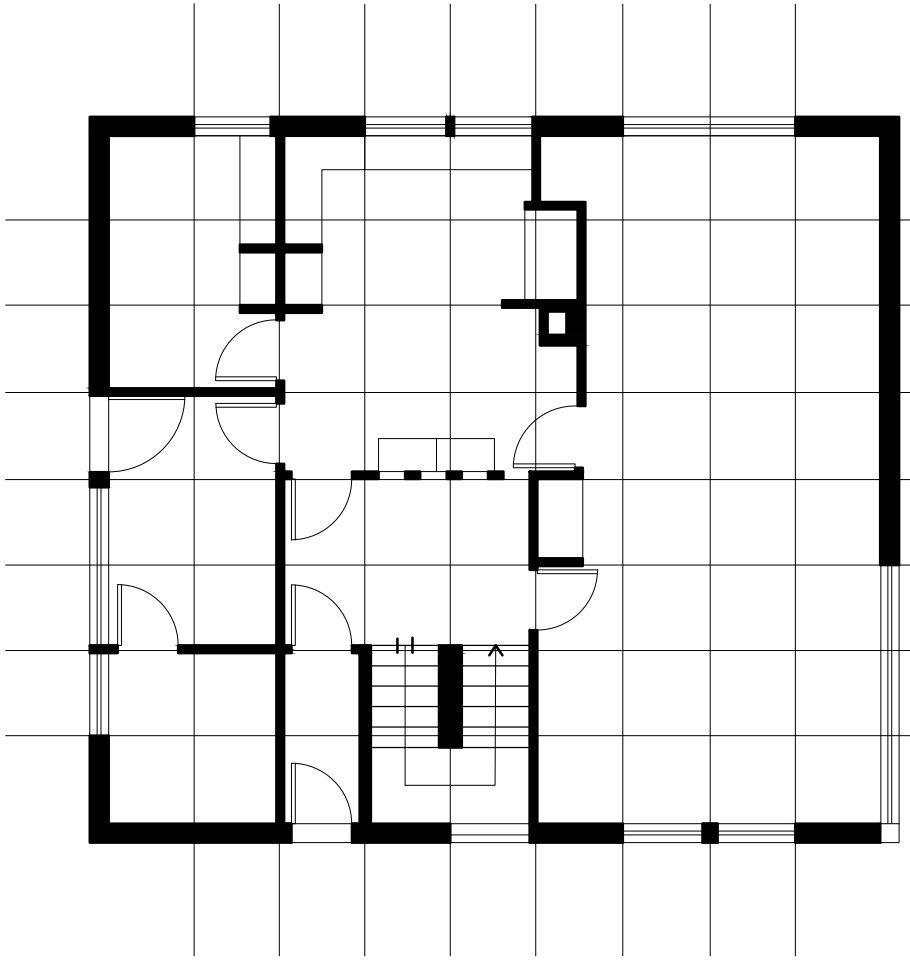
Progettata dall'architetto Walter Gropius nel 1927 in occasione dell'esposizione organizzata dal Deutscher Werkbund nel quartiere Weissenhof di Stoccarda, la casa unifamiliare n.17 vuole rappresentare un esempio di prefabbricazione assoluto. Il complesso di abitazioni moderne entro il quale la Casa 17 si trova, è espressione della nuova architettura; il Weißenhofsiedlung. Le abitazioni per lavoratori, finanziate dalla città di Stoccarda e progettate dai più innovativi architetti del Movimento Moderno, furono seguite durante tutto il progetto da Ludwig Mies van der Rohe. Il quartiere-modello ebbe un eccezionale successo e resta ancora oggi una delle testimonianze più importanti di unità di

Breve biografia Walter Gropius

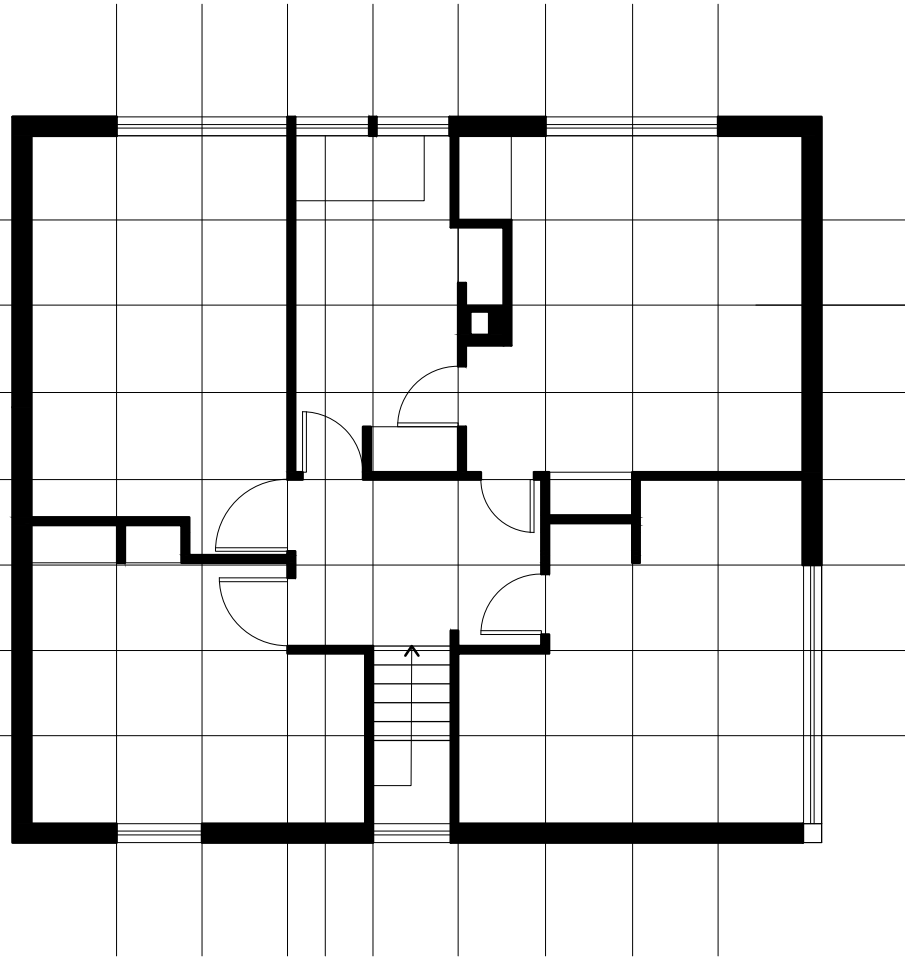
Nato il 18 maggio 1883 studia architettura a Monaco nel 1903 e a Berlino tra il1905 e il 1907. Nel 1911 apre il suo studio di architettura a Berlino e nel 1915 inizia a lavorare nello studio di Peter Behrens. Lavora in collaborazione con Adolf Meyer e sempre nel 1911 progetta e realizza le Officine Fagus ad Alfeld. Nel 1914 progetta, insieme a Adolf Meyer, il Padiglione del Werkbund per l'esposizione di Colonia. Dal 1919 al 1925 è direttore della Bauhaus, l'istituzione formale più influente del XX secolo per architettura, arte, artigianato, teoria e pratica, che dovevano essere unificati in un'opera d'arte totale, la costruzione. Nel 1926 realizza la Siedlung di Dessau-Törten, uno dei capisaldi dell'urbanistica razionalista; nelle case a schiera a due piani egli sperimentò il lavoro con elementi prefabbricati e con il montaggio a catena sul luogo della costruzione. Nel 1928 esercita la professione a Berlino svolgendo un'intensa attività quale conferenziere su questioni riguardanti il "nuovo modo di costruire" e il Bauhaus. Dal 1934 al 1937 lavora a Londra in collaborazione con Maxwell Fry. Nel 1937 viene chiamato negli Stati Uniti ad Harvard, presso la "Graduate School of Design", dove, a partire dal 1938, diventa direttore della sezione di architettura. Nello stesso anno organizza a New York la mostra "Bauhaus 1919-1928" e costruisce la sua casa di in Massachusetts. Dal 1938 al 1941 gestisce uno studio di architettura in collaborazione con Marcel Breuer. Nel 1946 fonda a Cambridge nel Massachusetts lo studio "The Architects Collaborative" (TAC) con un gruppo di suoi ex allievi, e con questa sigla firmerà le sue opere del dopoguerra: in particolare il Graduate Center di Harvard e l'ambasciata degli USA ad Atene. La fase conclusiva dell'attività di Gropius vede la costruzione di molte opere, tra cui l'edificio per l'Interbau a Berlino nel 1957; l'ambasciata americana ad Atene nel 1956; la nuova sede dell'università di Baghdad nel 1958; il quartiere a lui intitolato a Berlino, Gropiusstadt nel 1960, composto da sedicimila alloggi, il grattacielo della Pan American Airlines, appoggiato sopra la Grand Central Station a New York e firmato insieme a Pietro Belluschi nel 1963. Muore nel 1969 a Boston.

[45] Paragrafo sviluppato attraverso la rielaborazione delle informazioni contenute in: LUISA FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, CARLOS SOLER MONRABAL, *El General Panel System de Konrad Wachsmann y Walter Gropius, 1941*, in S.HUERTA, I. GIL, S.GARCIA, M.TAIN (a cura di), *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Santiago de Compostela*, Madrid 2011, pp. 375-385.

Ridisegno delle planimetrie e analisi del coordinamneto modulare dei tamponamenti in fibro cemento attraverso la griglia modulare 100 x 100 cm - scala 1.100



piano terra

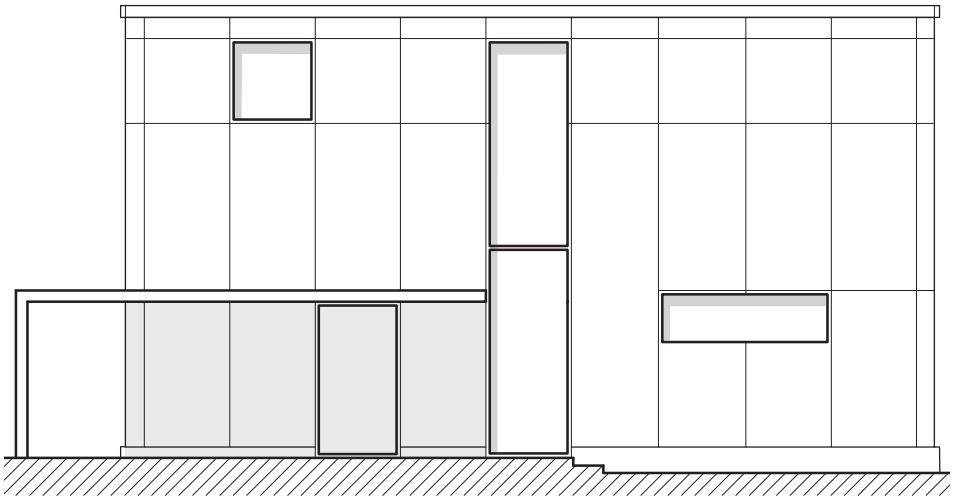


piano primo

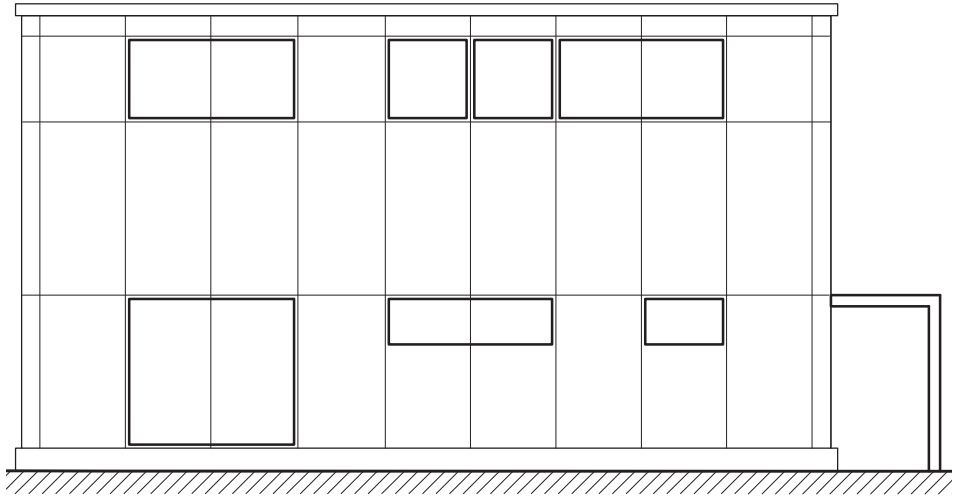
obbiettivi che animava gli architetti d'avanguardia dell'epoca. Lo scopo dell'associazione Deutscher Werkbund era quello di ricongiungere la rottura tra l'industria e le arti applicate, avvenuta nel corso del recente straordinario sviluppo economico. La Deutscher proponeva una nuova cultura del lavoro industriale: ogni progetto doveva essere analizzato valutando i costi di produzione, la qualità artigianale, le modalità ed i tempi di produzione, cercando di coniugarli con le politiche aziendali.

Le ventuno abitazioni realizzate presentavano caratteristiche comuni, l'approccio funzionalista del progetto cercava di raggiungere il contenimento dei tempi e dei costi di costruzione, infatti l'intero complesso fu realizzato in soli cinque mesi.
Mies Van Der Rohe il direttore del progetto, si occupò degli aspetti gestionali e della sistemazione del masterplan, scelse gli architetti ed assegnò loro lotti per il progetto e fondi. Partecipò anche Mies al progetto e scelse Le Corbusier, Walter Gropius, Hans Scharoun, Bruno Taut, Mart Stam e J.J.P. Oud eVictor Bourgeois come architetti per realizzare l'intero comprensorio residenziale. Le regole del progetto prevedevano edifici bianchi, di forma parallelepipeda a tetto piano e rivestiti con materiali o vernici chiari.

Prospetto sud con tamponamenti modulari in fibro cemento - scala 1.200

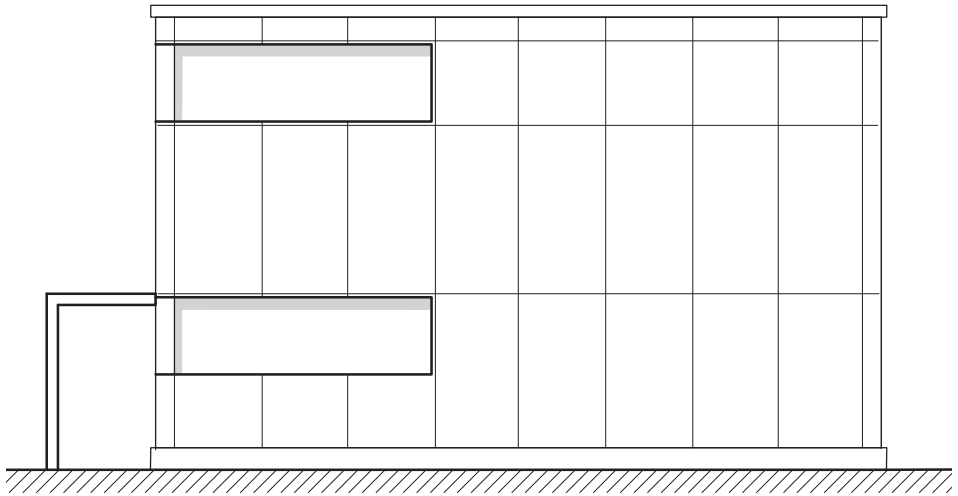


Prospetto nord con tamponamenti modulari in fibro cemento - scala 1.200

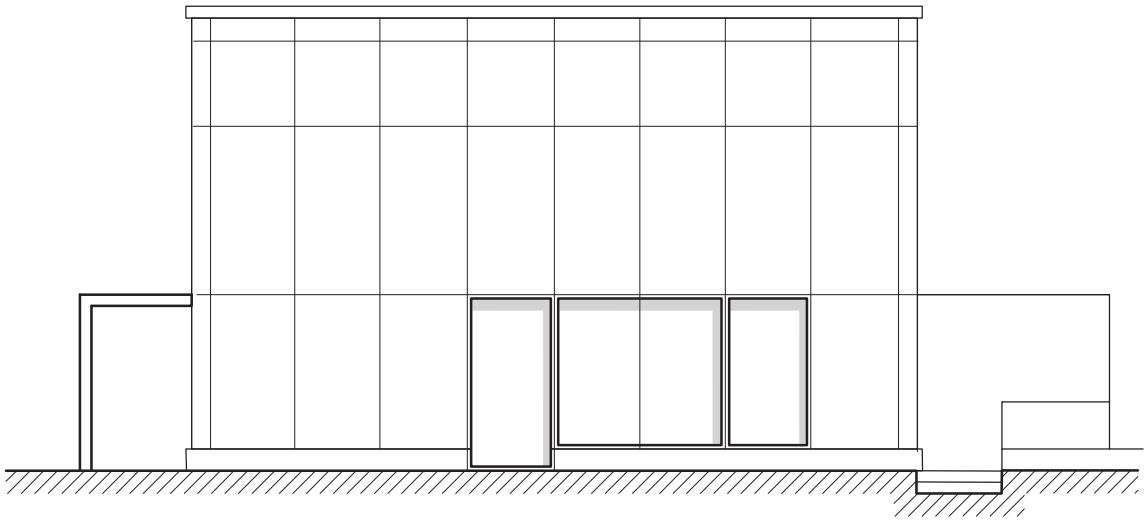


La casa unifamiliare n.17 situata al centro del quartiere Weissenhof era circondata da altre quattro case appartenenti al masterplan di progetto di cui una progettata dallo stesso W.Gropius: la casa unifamiliare n.16. L'esempio abitativo di prefabbricazione n.17 era attorniato da un giardino privato protetto da una barriera muraria rigorosamente bianca intorno alla casa. L'ingresso dell'abitazione si raggiungeva attraverso un percorso pedonale interno all'area, era collegato con una delle vie principali del quartiere e attraversava altre due esempi abitativi. Due scale in cemento all'interno del giardino esaurivano il dislivello tra abi-

Prospetto est con tamponamenti modulari in fibro cemento - scala 1.200



Prospetto ovest con tamponamenti modulari in fibro cemento - scala 1.200



tazione e le vie carrabili del Weissenhof.

La forma cubica dell'abitazione progettata per sopperire ai bisogni spaziali di una famiglia si sviluppa in due piani fuori terra con copertura piana e geometrie regolari scandite da una griglia regolatrice che governa la composizione architettonica del piccolo fabbricato. L'ingresso dell'abitazione è protetto da un porticato collegato alla struttura metallica della casa ed è adiacente al vano scala che serve il piano superiore dell'abitazione. La geometria delle aperture segue rigidamente le dimensioni della griglia modulare, infatti le aperture di dimensioni diverse ma multipli o sottomultipli dello schema, hanno disposizione libera all'interno dei quadrati dello schema. Se consideriamo come modulo la dimensione di 1x1m allora nel prospetto nord-ovest sono presenti quattro aperture con dimensioni diverse. In ordine di grandezza; una finestra al secondo piano fuori terra di un solo modulo, la porta d'ingresso all'abitazio di due moduli uno sopra l'altro, l'apertura del il vano scala generata con sei moduli uno sopra l'altro e la finestra generata con due mezzi moduli affiancati al piano terreno. Il prospetto sud-est quello con più superficie trasparente rispetto agli altri e così composto; al piano terra troviamo l'apertura più piccola da mezzo modulo con al suo fianco altri due mezzi moduli l'uno affianco all'altro, al piano soprastante perfettamente allineate troviamo altre quattro aperture affiancate di uno e due

moduli, l'ultima quadrata è la più grande ed è situata al piano terra composta con quattro moduli. Il prospetto nord-est possiede tre aperture affiancate, di cui una è la porta che permette l'accesso diretto alla dispensa dell'abitazione, le altre due sono un apertura quadrata composta da quattro moduli e un'altra rettangolare composta da due moduli uno sopra l'altro. Entrambe le aperture sono affiancate alla porta d'accesso della dispensa. Per ultimo analizziamo il prospetto sud-ovest su cui sono disegnate due aperture a nastro grandi tre moduli adiacenti all'anglo più ad est, una al piano terra e l'altra al piano primo.

Lo spazio interno dell'abitazione si sviluppa con la zona giorno al piano terra e con la zona notte al piano primo. Le camere sono distribuite lungo le pareti perimetrali per garantire luce e adeguata ventilazione ad ognuna di esse, l'ingresso della casa è vicino al disimpegno, quest'ultimo e posto al centro dell'abitazione e permette di raggiungere le quattro zone principali della zona giorno; l'ampio salone che occupa metà del piano terreno, la cucina da dove si può raggiungere il magazzino, la lavanderia comunicante con giardino esterno e conmagazzino ed in fine il vano scala. Quest'ultima porta al piano superiore dove è situata o un altro spazio distributivo circondato da quattro camere da letto e da un bagno in linea con la cucina al piano inferiore.

La geometria regolare della composizione architettonica che il progetto di Gropius mostra è conseguenza pratica del sistema costruttivo su cui si basa questo fabbricato. Pensata per essere un esempio di prefabbricazione la casa è realizzata interamente a secco ad esclusione del basamento in cemento armato gettato in opera. Il sistema costruttivo prevede l'uso di telai metallici montati a secco e imbullonati sulla piastra in cemento armato e dei pannelli di Eternit per realizzare i tamponamenti perimetrali. All'interno i solai sono realizzati con pannelli di cemento alleggerito e poggiano su putrelle che trasferiscono il carico tramite pilastri in metallo alla fondazione. Le partizioni interne sono realizzate con pannelli in sughero adeguatamente fissati ai rispettivi montanti interni.

In virtù del grande interesse architettonico universalmente riconosciuto il progetto del il sito Weissenhof è diventato una testimonianza senza tempo dell'ingegno creativo dei grandi maestri dell'architettura moderna. La possibilità di lavorare su una piattaforma reale di idee condivise permise di fondare nel 1928 il CIAM (Congressi Internazionali di Architettura Moderna) nata dal bisogno di promuovere un'architettura ed un'urbanistica funzionale fu poi disciolto nel 1958. Durante la seconda guerra mondiale parte del complesso di abitazioni tra cui quelle di Walter Gropius furono distrutte ma gli interventi di restauro dell'itera area nel 1958 permisero di classificare la zona come "sito protetto" in virtù dell'importanza architettonica.

1.4 «A guide to Modular Design and Construction»

1.4.1 L'impatto di Gropius e Wachsmann, lo sviluppo digitale nella prefabbricazione

L'architettura prefabbricata è una manifestazione di necessità; individui e comunità hanno da sempre considerato l'abitazione come una struttura di funzionalità. La prefabbricazione racconta quindi il bisogno di costruire in luoghi remoti, consegnare gli edifici più rapidamente e di costruire in grandi quantità per la società[46].

Un esempio di sistemi costruttivi prefabbricati è quello che l'azienda americana Aladdin Homes[47] applicava per la realizzazione di case monofamiliari in legno. Il sistema "Readi-Cut" da loro ideato, utilizzava elementi di semplice manovrabilità che gli acquirenti potevano assemblare propriamente (tramite l'utilizzo di un martello e pochi altri strumenti), sotto la super visione di un insegnante. L'obbiettivo di questo sistema era quello di aumentare la velocità di fabbricazione, migliorando la precisione.

Negli anni a venire, sempre in America, risulta rilevante lo sviluppo che l'azienda Sears Roebuck fu in grado di adoperare al sistema costruttivo, resistendo alla crisi economica di quegli anni. Il loro metodo permetteva una flessibilità compositiva maggiore e le abitazioni venivano costruite complete di tutto direttamente dall'azienda. La forza economica era accompagnata dall'esperienza sulle grandi distribuzioni e dallo sviluppo delle componenti standardizzate che rimanevano nascoste dal rivestimento dell'abitazione[48].

Gropius e Wachsmann [49]

Il contributo che Walter Gropius diede all'architettura si basò su aspetti legati all'industrializzazione e all'uguaglianza sociale. Gropius attraverso l'estetica industriale di Behrens, fu precursore per un'architettura del tutto funzionalista. Sosteneva come la natura di un oggetto fosse determinata in prima linea dalla sua funzione; in altre parole, doveva adempiere alle sue funzioni pratiche, risultare economico, durevole e "bello". Uno degli obbiettivi nati all'interno della Bauhaus era quello di creare case e oggetti per le masse. Il suo interesse per la prefabbricazione era noto per la natura economica che questo sistema offriva. La collaborazione con il noto architetto Konrad Wachsmann, diede vita a nuovo sistema costruttivo; il «Packaged House», progettato per la produzione di case negli Stati Uniti.

L'influenza pubblica dell'architetto W.Gropius che spesso adoperava con nozioni ingegneristiche e le competenze tecnologiche di Wachsmann acquisite con l'esperienza artigianale e industriale, hanno generato una combinazione perfetta per poter realizzare un prodotto necessario all'industria per costruire rapidamente nel dopoguerra. Il team di progetto si era impegnato nell'ideazione di un connettore a quattro vie brevettato e sviluppato da Wachsmann precedentemente; la funzione del connettore metallico era quella di unire facilmente i tamponamenti modulari in

---

46 RYAN E. SMITH, Prefab architecture: a guide to modular design and construction (a cura di James Timberlake), John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey 2010, p.3.

47 La fine del ventesimo secolo, durante la rivoluzione industriale in rapida crescita era caratterizzata dall'adozione del sistema costruttivo Balloon-frame con legname pretagliato. Tra le aziende che operavano in questo settore c'era la Aladdin Homes, fondata nel 1906, l'azienda si basava sui principi della produzione di massa applicati per produrre alloggi di in grandi quantità. L'infrastruttura che permise la proliferazione e la crescita di tali aziende era la ferrovia transcontinentale, completata nel 1869, che collegava le coste est e ovest. Questo permise una rapida espansione degli Stati Uniti verso ovest,trascinando dietro se un bisogno urgente di alloggi rapidi, economici e facilmente costruibili.

In: RYAN E. SMITH, *op. cit.*, p.3.

48 RYAN E. SMITH, *op. cit.*, p.10.

49 Rielaborazione delle informazioni contenute in: RYAN E. SMITH, *op. cit.*, p.27.

tavole di legno prodotti dall'industria.

La normazione del prodotto permise di realizzare tutti gli elementi in fabbrica per poter essere montati in loco facilmente e in brave tempo. Ciò che contraddistingue il ruolo di Gropius e Wachsmann fu l'operabilità intellettuale in tutto il processo, investirono ruoli da designer, da ingegneri, da disegnatori industriali e da produttori. Il messaggio all'architettura è dunque quello che gli architetti dovrebbero impiegarsi in ruolo più profondo, verso una maggiore conoscenza pratico realizzativa; con una concezione produttiva vicino alla maniera di Brunelleschi, il maestro costruttore di secoli precedenti. Lasciarono invece ai fruitori una completa creatività compositiva, accompagnata da rapidità realizzativa e economicità.

Produzione digitale

La standardizzazione è una limitazione alla varietà del prodotto, ma si possono sviluppare macchine in grado di produrre prodotti con lunghezze e larghezze, diverse mantenendo invariati i principi produttivi industriali. La standardizzazione, limita la produzione di rifiuti associati alle opzioni di variabilità e limita il margine di errore nei prodotti finali. L'obbiettivo della standardizzazione è il raggiungimento di una produzione di massa, utile a restituire i frutti di un processo progettuale attuo a realizzare degli standard utili alla società[50].
I metodi di produzione industriale odierni sono notevolmente sviluppati oltre le nozioni di standardizzazione. I processi di produzione di oggi, attraverso l'uso della tecnologia digitale sia per legno che per altri materiali, avvengono mediante l'ausilio di progettazione e produzione assistita da computer con di software CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing). Questa espressione (CAD/CAM) si riferisce all'impiego congiunto e integrato di sistemi per la progettazione e la fabbricazione assistita da computer.

L'uso integrato di questi sistemi rende più semplice il trasferimento di informazioni dalla fase progettuale a quella realizzativa, la collaborazione computerizzata di queste fasi permette di avviare un processo di automazione industriale per la produzione dei prodotti. Nel settore della produzione, vengono utilizzate tali tecnologie per gestire robot, e Macchine di taglio a Controllo Numerico (MCN).

Questi strumenti dimostrano essere un cambio di paradigma nell'ideologia della produzione, questa tecnologia non solo è utilizzata per sviluppare nuove tecnologie prefabbricate, ma anche per proporre nuove forme architettoniche. La fabbricazione digitale è potenzialmente un metodo che potrebbe aumentare la qualità delle relazioni tra proposte formali e produttive degli elementi.

Due forze hanno dato origine alla tecnologia CAD/CAM. Primo è il legame con la rivoluzione industriale, l'altro è quello dell'automazione digitale. L'automazione è una tecnologia informatica per la produzione. I processi automatizzati sono creati appositamente per limitare il processo di lavoro umano qualificato, trasportando l'intera fase di comunicazione, e istruzione del lavoratore all'interno di un software che risponde precisamente alle dimensione del foglio digitale sul quale è rappresentato il prodotto da realizzare.

I progressi che hanno portato alla proliferazione di questa tecnologia (CNC) sono attribuiti allo sviluppo di computer molto più potenti, in grado di elaborare dati a velocità molto maggiori, e software che hanno dato un accesso al processo di fabbricazione, conoscenze generali del contributo della geometria alla produzione.

[50] RYAN E. SMITH, *op. cit.*, p.17.

Le nuove piattaforme CATIA permettono di valutare fin dalle prime fasi di progetto tutto il ciclo vita di un prodotto, in modo tale che il design e le decisioni progettuali vengano preventivamente testate tramite simulazioni computerizzate, atte a definire parametri su cui adoperare delle modifiche, per migliorare la qualità del prodotto finale[51].

1.4.2 Sviluppo tecnologico: accenno al concetto di tecnologia[52]

Secondo Tormatzky e Fleischer nel libro The Process of Technological Innovation, i criteri necessari da tenere in considerazione per una sana innovazione tecnologica sono, l'ambiente, l'organizzazione e la tecnologia.

- L'ambiente si riferisce al mercato, all'industria, all'infrastruttu ra e al contesto strutturale e culturale.
- L'organizzazione si riferisce a collegamenti, comunicazione, e alle responsabilità dei membri di un team.
- La tecnologia indica la disponibilità al cambiamento e la caratteristica della tecnologia stessa adoperate fino ad allora.

Gran parte delle volte la prefabbricazione viene definita come una metodologia che opera, e influisce soltanto sul materiale. Tuttavia, per svilupparla adeguatamente deve rispondere alle esigenze di tutti e tre i parametri contestuali. La prefabbricazione viene sorretta dal contesto ambientale e dalla struttura organizzativa che comprende la capacità produttive del materiale stesso. Tali parametri in larga misura determinano la prefabbricazione, definendo la misura in cui potrebbe essere realizzato.

Contesto tecnologico

Il professore di storia della tecnologia David Nye(nota) afferma in materia di tecnologia che: *«Poiché le tecnologie non sono deterministiche, ne consegue che le persone possono usarle per molti scopi. Per gran parte del XIX e XX secolo, sociologi e storici presumevano che l'età della macchina potesse solo portare a schiacciante omogeneità. Nella pratica delle cose, le persone hanno spesso utilizzato le tecnologie per creare differenze.»* La tecnologia emerge dalle esigenze e dai bisogni sociali e culturali, fa parte dell'architettura come disciplina e viene utilizzata dai costruttori.

Lo sviluppo e l'uso di nuove tecnologie, inclusa la prefabbricazione, richiede lo studio di molteplici contesti ma risulta necessario individuare aspetti strettamente legati all'ambito tecnologico produttivo delle componenti. I consumatori preferiscono la varietà, o meglio la possibilità di scegliere, e teoricamente il produttore desidera soddisfare tali bisogni. Una delle preoccupazione per le abitazioni prefabbricate è l'effetto monotono sull'ambiente, il compito dell'architetto è quello di sfruttare e le possibilità tecnologiche per lo sviluppo di architetture soddisfacenti. Dunque la personalizzazione di massa (concetto che riunisce la produzione di massa e l'automazione) è raggiungibile attraverso la meccanizzazione e dei metodi di produzione e all'automazione dei processi. Questo dovrebbe tramutarsi in una riduzione dei costi di manodopera, e in una preservazione di variabilità e personalizzazione del prodotto finale.

Risulta estremamente importante per l'architettura mantenere un rapporto saldo con le possibilità produttive delle componenti di un architettura e con le possibilità tecnologico applicative degli stessi. Tralasciare o trascurare tali informazioni durante il processo progettuale determina - nonostante lo sviluppo di nuove tecnologie - un incoerenza tra la forma e le sue componenti.

---

[51] RYAN E. SMITH, *op. cit.*, pp.18-20.

[52] Rielaborazione delle informazioni contenute in: RYAN E. SMITH, *op. cit.*, p. 68.

È necessario quindi che sia dipendente dalla produzione ogni costruzione architettonica; tenendo in considerazione il numero di individui, le squadre operanti, i materiali, i prodotti, i sistemi di assemblaggio e le macchine utilizzate.

Tutti questi elementi sono impliciti ad un edificio e sono difficili da comprendere; il processo di costruzione di un fabbricato può essere equiparato a quello di un'orchestra, in cui tutti i musicisti e i loro strumenti sono importanti per il successo del prodotto finale. Per il raggiungimento di tali obbiettivi e quindi necessario adottare metodi e strumenti che guidino ad una progettazione coerente con l'ambiente, l'organizzazione e le tecnologia utilizzate.

1.4.3 I livelli di prefabbricazione e la griglia come strumento di progettazione[53]

La fabbricazione degli edifici può essere standardizzata o personalizzata. Le tecniche di fabbricazione variano a seconda degli strumenti e del progetto da realizzare. Gli aspetti principali che influenzano il processo fabbricativo sono i costi, i tempi di consegna e la flessibilità del prodotto finale; su questi termini sono emersi livelli di prefabbricazione che hanno impatto su flessibilità, personalizzazione, costi e tempi. Questi termini risultano utili per la comprensione della portata del progetto da realizzare e si suddividono in Made-to-Stock, Assembled-to-Stock, Made-to-Order e Engineered-to-Order.

- Made-to-Stock (MTS): I prodotti per il magazzino vengono generati sulla base di previsioni di vendita e utilizzo, sono standardizzati, poco complessi, e vengono prodotti in grande numero. Sono impiegati in larga scala e spesso subiscono lavorazioni successive per essere adattati all'uso finale. Ritroviamo in questa categoria le sezioni standardizzate di travi in legno, acciaio, scatolari in alluminio, pannelli in cartongesso, OSB, compensato etc.

- Assembled-to-Stock (ATS): Sono prodotti assemblati con componenti già fabbricate impostate tramite disegni standard prestabiliti. Molti degli MTS si trovano all'interno o fanno parte di ATS. La metodologia d'assemblaggio caratterizza questi prodotti, la personalizzazione di questi prodotti dipende dalla relazione e dalla composizione delle parti di cui sono composti. Un esempio di ATS potrebbe essere quello di pareti prefabbricate per uso abitativo.

- Made-to-Order (MTO): Gli MTO vengono prodotti solo dopo la ricezione dell'ordine. Le fasi di progettazione e ingegnerizzazione rimangono comunque precedenti all'ordine e garantiscono. Gli elementi prodotti previa ordinazione appartengono a quella classe di elementi personalizzati e richiedono più tempo per essere elaborati. Rientrano in questi prodotti le finestre, le porte e altri elementi personalizzati che presentano delle caratteristiche standardizzate e altere variabili, come ad esempio la larghezza di una porta. I limiti delle variabili personalizzabili di questi prodotti dipendono dal posizionamento di mercato dell'impresa produttrice.

- Engineered-to-Order (ETO): O i design-to-order, sono prodotti personalizzati dove la progettazione per produrre l'elemento è nuovamente chiamata in causa. I prodotti ETO vengono realizzati con tempi di consegna molto lunghi e costi molto elevati. In architettura spesso sono componenti edilizie utili per la composizione di forme organiche complesse

[53] Rielaborazione delle informazioni contenute in: RYAN E. SMITH, *op. cit.*, pp. 120 - 126.

Gli architetti analizzando gli elementi MTS, ATS, MTO ed ETO, possono durante il processo decisionale individuare quale strada progettuale percorre, tenendo sotto controllo tempi e costi per la produzione. Ad esempio si potrebbe fare un discernimento su quei prodotti che permettono una variabilità compositiva a basso costo e quelli che richiederebbero costi più elevati. La prefabbricazione in architettura può essere fatta tramite prodotti MTS, ATS e MTO, in genere l'utilizzo di MTS per alcune componenti comporta l'utilizzo maggiore di MTO in altre parti dipendenti, è necessario quindi individuare quali elementi risultino essere utili per generare una linea guida progettuale più economica che soddisfi un certo grado di personalizzazione.

Metodi di taglio

I metodi di taglio sono vari e vengono scelti in base al materiale e alla manipolazione desiderata. L'operazione di taglio può essere suddivisa in quattro gradi categorie.

- L'adozione di strumenti meccanici per la rimozione di materiale; sono inclusi strumenti come seghe, trapani, mulini, router e torni. Le lame dentate asportano via il materiale per generare la sezione di taglio prestabilita; questo comporta in genere una piccola perdita di materiale. Questo sistema viene spesso utilizzato per dividere elementi in legno, ferro e pietra. Gran parte del tempo per la gestione del taglio viene impiegato per impostare la macchina; il margine d'errore dipende dall'attenzione dell'operatore che effettuerà l'operazione. Un numero elevato di tagli e un continuo cambiamento delle impostazioni della macchina incidono negativamente su costi e tempi generali produttivi. Qualora si volessero generare dei tagli curvilinei controllati tramite piattaforma digitale risulta utile adoperare macchine a controllo numerico CNC, che sono predisposte per adoperare con getto d'acqua ad alta pressione, plasma e laser.

Sezionatrice verticale a lama circolare

- Il taglio a getto d'acqua utilizza la capacità abrasiva dell'acqua ad alta pressione per dividere l'elemento. Questa tecnologia risulta essere molto precisa grazie al controllo computerizzato dell'operazione che inoltre permette di sorvegliare la temperatura del prodotto tramite il getto d'acqua stesso. Questa tecnica viene utilizzata spesso per lastre metalliche che non subiranno più deformazioni dovute a stress termici generati dal taglio.

- Il taglio al plasma è simile al getto d'acqua e viene utilizzato su metalli e ceramiche. Il plasma viene utilizzato per tagli che richiedono la precisione di millesimi di pollice. Sebbene questo metodo sia veloce e preciso, il calore può deformare una lamiera sottile.
- Il taglio laser funziona anche sull'asse z, permette di incidere la superficie rimuovendo il materiale. Il taglio laser è più flessibile e preciso di

Macchina a controllo numerico con sistema di taglio a getto d'acqua

plasma, ma ha ancora problemi con la deforestazione indotta dal calore. La macchina a controllo numerico può adoperare anche con strumenti meccanici applicati al braccio automatizzato, utilizzando punte, lame, etc.

Assemblaggio delle componenti in legno

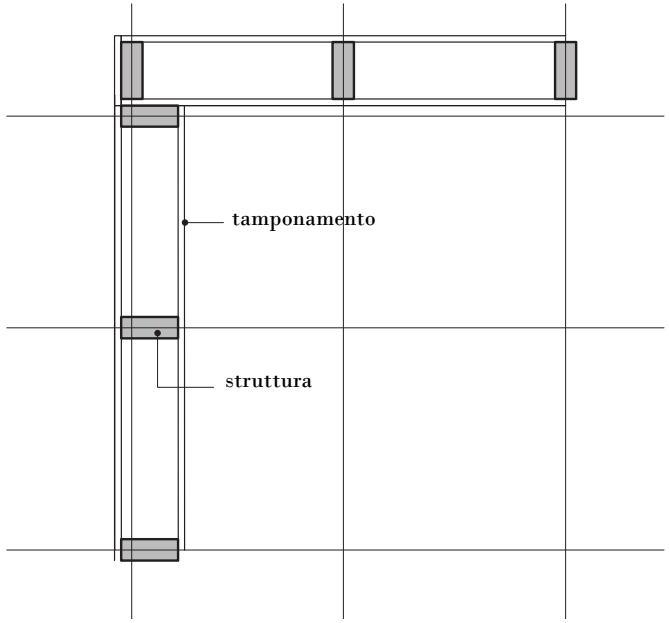
L'assemblaggio è la fase che unisce le componenti pre-dimensionate per la formazione di parti prefabbricate dell'edificio. L'assemblaggio è la fase più grande della costruzione e spesso prevede ulteriori lavorazioni; qualora i prodotti da assemblare subiscano variazioni in corso d'opera, o se le dimensioni di alcuni elementi non siano adattabili a componenti già standardizzate che compongono un organo strutturale più complesso (l'involucro per esempio). Le categorie generali di fissaggio includono sistemi meccanici, saldatura e per incollaggio. Il fissaggio meccanico utilizza bulloni a base metallica, viti, rivetti, chiodi e graffette. Durante le fasi di montaggio è necessario preparare preventivamente gli elementi utili e gli strumenti da adoperare per eseguire l'operazione adeguatamente. I metodi meccanici possono essere fonte di comunicazione architettonica che testimoniano la capacità reversibile della struttura a secco.

Classe

Il processo di prefabbricazione edilizio può essere a ciclo chiuso o aperto; nelle classi chiuse, un singolo costruttore produce tutti gli elementi necessari alla costruzione dell'intero fabbricato. L'intercambiabilità delle componenti può avvenire solamente all'interno dell'azienda costruttrice che ha sviluppato gran parte delle componenti che compongono gli elementi architettonici. Dunque le prefabbricazioni a classe chiusa risultano essere limitate ad un utilizzo ristretto di opzioni di progettazione. Le classi aperte offrono la possibilità di utilizzare i prodotti di diverse aziende. Questo sistema consente di combinare facilmente gli elementi offerti dal mercato; tale strategia però non va confusa con una semplice scelta di opzioni proposte da un catalogo di fornitori. La differenza della progettazione aperta rispetto ai sistemi chiusi è la capacità di essere mantenuto e aggiornato più facilmente.

La griglia come strumento

Le griglie sono un sistema geometrico di organizzazione spaziale delle componenti standard per la composizione di prefabbricati. Generalmente sono basate su forme quadrate o rettangolari per la disposizione di componenti lineari o piani. La griglia viene posta sull'asse delle componenti strutturali e genera selle linee guida per la disposizione delle altre componenti modulari in stretta relazione con la struttura. Si possono utilizzare più griglie con la funzione di guidare la disposizione di compo-



Sezione orizzontale porzione di parete, griglia posizionata al centro dell'elemento strutturale

nenti dal carattere diverso; ad esempio una griglia per la rete strutturale dei pilastri, un'altra per la disposizione dei montanti utile alla progettazione dei tamponamenti, al loro interno le griglie possono svilupparsi in alzato con proporzioni diverse a seconda delle necessita. Per spiegare le differenti utilità delle griglie è quindi utile classificarle in griglie assiali e griglie modulari.

- Le griglie assiali utilizzano l'asse centrale di un elemento dell'edificio; generalmente un pilastro in acciaio o legno. Il posizionamento dell'elemento strutturale viene quindi posizionato sulle linee della griglia; tale disposizione presenta dei problemi se non è in stretta relazione con altre componenti che utilizzano la struttura come elemento portante principale. È utile quindi coordinare le dimensioni del modulo della griglia basandosi su tutte le relazioni tra le parti. Lo studio della relazione tra le parti è fondamentale per la riuscita di un coordinamento dimensionale; le dimensioni dei singoli elementi, la loro modularità produttiva, i sistemi di montaggio sono alcuni degli aspetti da tenere in considerazione per il raggiungimento dell'obbiettivo.

- Le griglie modulari si basano sulla posizione effettiva e le dimensione degli elementi dell'edificio che compongono l'edificio. Per il disegno corretto dello schema di linee modulari è utile tenere conto della realtà tridimensionale degli elementi; *altezza, larghezza e spessore*. Le griglie modulari generalmente vengono utilizzate per la disposizione di pannelli e sistemi di rivestimento modulari. L'incremento dimensionale tiene conto delle misure che il mercato offre durante la produzione di prodotti MTS. Negli Stati Uniti gran parte degli incrementi modulari della progettazione architettonica sono basati sulle dimensioni che l'industria produce, ovvero componenti con misure incrementa incrementi di 30cm. Tale misura è associata a prodotti lineari come travi e listelli e prodotti piani come, compensati e OSB.

Vari sistemi di costruzione possono utilizzare diverse griglie. Per esempio, una griglia assiale può rappresentare la posizione e relazione tra elementi strutturali portanti, mentre una griglia di adattamento interna determina la posizione di tutti gli elementi che racchiudono o definiscono lo spazio. La griglia può essere utilizzata per un servizio altamente sofisticato di sistemi come controsoffitti o pannelli di rivestimento. Ogni sistema dell'edificio può avere una griglia dimensionale propria; per la struttura, per gli spazi, per le finiture, per i mobili etc. L'adozione di griglie diverse richiede un coordinamento scrupoloso tra i diversi sistemi costruttivi o elementi che li supportano. L'adozione della griglia come strumento di progetto presenta enormi potenzialità per la produzione di elementi prefabbricati in quanto limita la produzione di elementi a pochi standard.

1.4.4 Tre casi studio di prefabbricazione modulare in legno:

1 - Packaged House System [54]

«La tecnica industriale non può essere impiegata come mezzo per realizzare una libera ideazione. Può solo essere intesa come il processo di sviluppo di un prodotto che ne determini la forma espressiva. Il merito dell'industrializzazione è quello di dare prodotti di prim'ordine, economici e di qualità costante, utilizzabili secondo le esigenze collettive, con i materiali più opportuni, nella forma migliore e con il massimo di rendimento; essa sarà efficace solo entro un sistema di ordine e standardizzazione il più ampio possibile. Si raggiunge questa meta con il principio della produzione di serie. A differenza dell'artigianato il prodotto di serie deve rispondere a sistemi modulari di coordinazione per poter raggiungere raffinatezze finora sconosciute, con possibilità di combinazione quasi infinite; questa esigenza è soddisfatta con lo standard e i sistemi modulari di coordinazione. Lo standard è un valore di misura obiettivo per il tipo, la qualità e il livello di rendimento di un prodotto.» [55]

Dopo essere emigrato negli Stati Uniti, Konrad Wachsmann sviluppò un sistema per produrre case prefabbricate in legno, noto come il " Packaged House System". Tale sistema fu ideato con Walter Gropius nel 1941 e fu poi prodotto attraverso la società americana "General Panel Corporation" un industria destinata a realizzare componenti semilavorati in legno per le costruzioni prefabbricate.

Il sistema di progettazione tridimensionale del Packaged House System era basato su una griglia modulare di 120 cm (40 pollici) su cui combinare pannelli di tamponamento, parete divisorie e elementi di copertura.

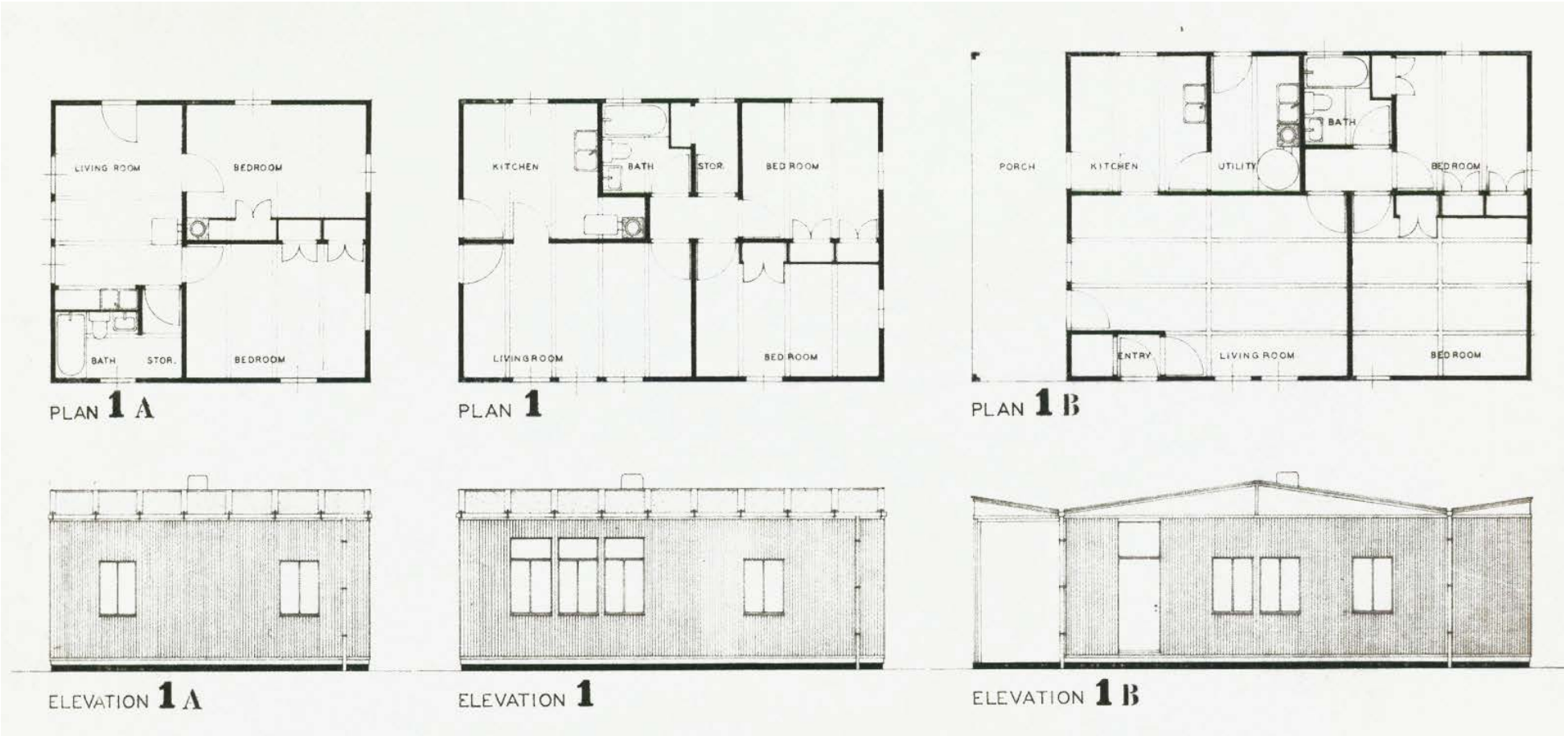
Konrad Wachsmann e Walter Gropius sopra il prototipo abitativo del Packaged House System, 1941.

Le operazioni di cantiere erano state pensate per poter essere eseguite da cinque lavoratori insesperti a testimonianza della semplicità realizzativa del sistema e del ridotto numero di componenti necessarie. L'impegno e lo sviluppo si è incentrato sulla progettazione di componenti prefabbricate utilizzabili per ogni tipo di abitazione; le caratteristiche delle componenti erano tali da poter permettere un'adeguata flessibilità compositiva fortemente indirizzata verso l'utilità e la velocità esecutiva. Gli elementi metallici di giunzione e i pannelli semi lavorati in legno permettevano di realizzare case da 1 o 2 piani fuori terra senza l'utilizzo di particolari maestranze.

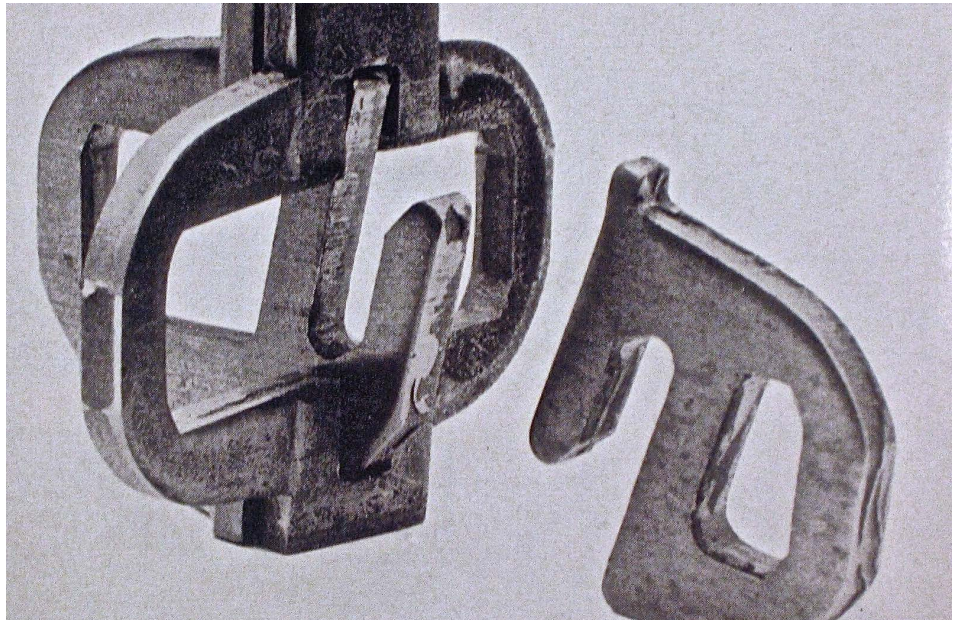
---

[54] Rielaborazione e traduzione delle informazioni contenute in: LUISA FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, CARLOS SOLER MONRABAL, *El General Panel System de Konrad Wachsmann y Walter Gropius, 1941*, in S.HUERTA, I. GIL, S.GARCIA, M.TAIN (a cura di), *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Santiago de Compostela*, Madrid 2011, pp. 375-385

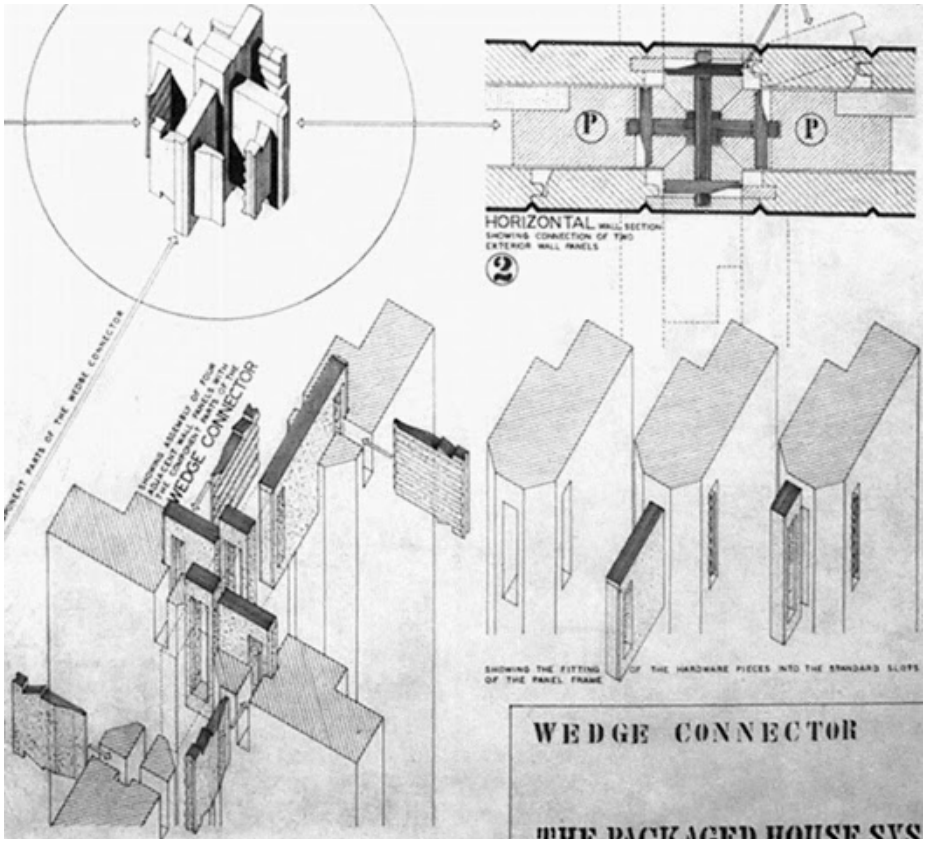
[55] Prologo di "Wendepunk in Bauen", il manuale scritto dall'architetto Konrad Wachsmann nel 1959.



Planimetrie e prospetti del prototipo abitativo progettato da Konrad Wachsmann e Walter Gropius nella loro azienda, la General Panel System, 1941.



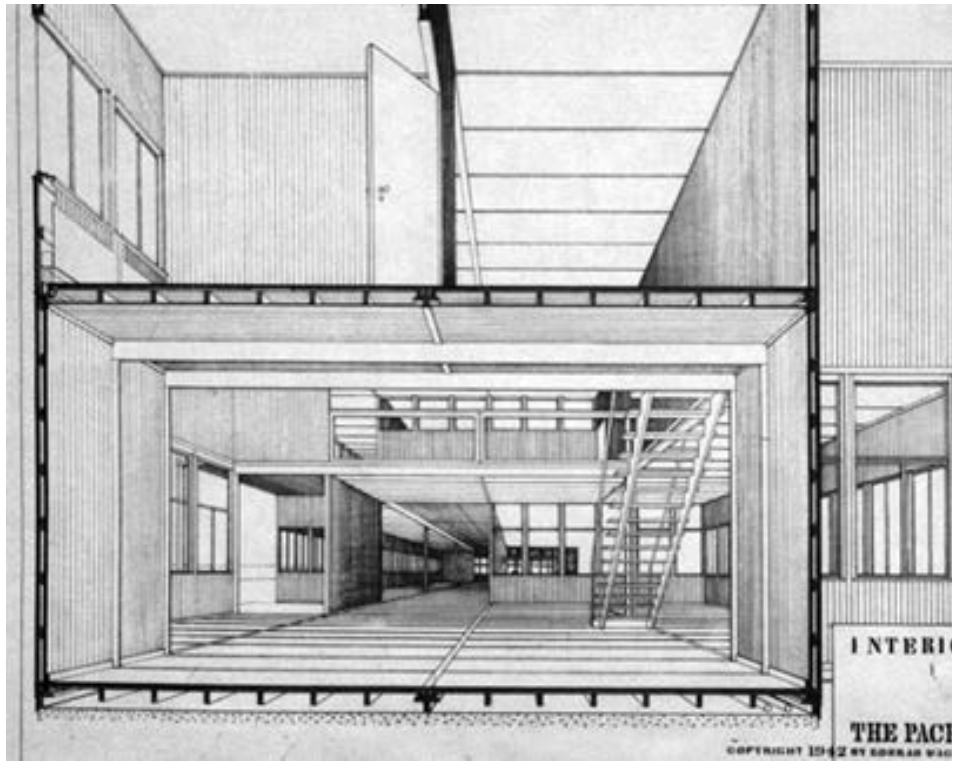
Collegamento d'aciaio per fissare i pannelli del Packaged House System progettato da Konrad Wachsmann e Walter Gropius.



Disegno del nodo telaio e del cuneo di bloccaggio progettati da Konrad Wachsmann e Walter Gropius per il Packaged House System.

Nello specifico lo sviluppo di Wachsmann verteva sulla progettazione di un nodo standard universale in acciaio, reso invisibile dai singoli componenti (pannelli) agganciati ad esso. Questo elemento di collegamento in acciaio diviso in quattro parti o "vie" permise l'installazione degli stessi componenti nelle direzioni orizzontali e verticali.
I componenti prefabbricati in legno erano costituiti da telai anch'essi in legno che avevano funzione portante e di irrigidimento del pannello stesso, erano rivestiti esternamente con tavole giuntate disposte verticalmente. Ogni pannello era costituito da due pannelli accostati e giuntati; questo permetteva qualora fosse richiesto di realizzare componenti che al loro interno ospitassero un pannello con funzione isolate. Lo spazio delle aperture era standardizzato all'interno della struttura intelaiata in acciaio e poteva avere altezze variabili a seconda delle necessità. Per gli interni, a sua volta fu sviluppato successivamente al 1941 un sistema a parete divisoria, la cui caratteristica speciale era di non necessitare di alcuna connessione metallica per il suo posizionamento.

La linea produttiva di questi elementi seguiva procedure atte alla composizione del prodotto finito munito di sistema di connessione. Lo sviluppo ulteriore avvenne nel 1948 quando l'azienda iniziò a vendere l'intera casa attraverso cataloghi che contenenevano esempi finiti di abitazione. L'utilizzo di materie prime pregiate (sequoia e abete di Douglas)



Sezione prospettica del Packaged House System.

per la produzione dei pannelli comportava dei costi produttivi elevati. Inoltre la fornitura americana di compensati prevedeva una larghezza di 48 pollici e non 40 come i pannelli utilizzati nello schema progettuale della Packaged House System, questo comportava delle nnumerose fasi di taglio a livello produttivo, che allungavano tempi costi, producendo un costante *sfrido* di 8 pollici. Tutti questi fattori concorrono ad aumentare il prezzo oltre la media di mercato e dei già affermati sistemi costruttivi *paltform-frame*. I costi elevati dovuti alle materie prime pregiate, allo spreco di materiali, e ai 500 operai richiesti per ogni linea produttiva fecero chiudere la produzione del Packaged House System nel 1955.

Modellino del prototipo abitativo Packaged House System, fotografia di Jörg Zimmermann in Stylepark

Modellino del prototipo abitativo Packaged House System, fotografia di Jörg Zimmermann in Stylepark

2 - Casa Montarina[56]

La Casa Montarina costruita nel 2008 è progettata da Lorenzo Felder, che tenne conto dell'esigenza dei promotori di costruire un'abitazione con le caratteristiche di una casa unifamiliare, ma nel contesto urbanizzato. L'edificio è immerso in un'area urbana ampliamente circondata dalla natura, lungo il pendio della valle del Tassino nel centro di Lugano. La palazzina, dalla forma compatta e dalle geometrie regolari, lascia, già al primo sguardo, intravedere, la sua filosofia tecnologica, caratterizzata dal sistema costruttivo in legno a setti portanti prefabbricati. Le scelte progettuali, compositive, tecnologiche e costruttive hanno permesso di certificare il fabbricato come Minergie-ECO.

L'edificio a di forma ad "H" si sviluppa in 5 piani fuori terra e si erge sul pendio della valle. Il volume, con geometrie semplici e nette, termina ad ovest, con il terrazzo di pertinenza dell'ultimo appartamento

[56] Le informazioni riportate sono un elaborazione del documento:ALBERTO ALESSI , *Casa Montarina a Lugano – un edificio multipiano in città*, in PROMO_LEGNO (a cura di), *Case ed edifici in legno, convegno: Costruire nel nuovo intervenire nell'esistente*, Firenze 2009.

A destra la vista dall'esterno di Casa Montarina, progettata dall'architetto Lorenzo Felder, Lugano 2008.

Vista del terrazzo di Casa Montarina, progettata dall'architetto Lorenzo Felder, Lugano 2008.

e con una copertura piana sormontante il vano scala e l'ultima stanza della casa. Le aperture, disposte sui prospetti est e ovest, hanno forma rettangolare e si sviluppano per tutta l'altezza interpiano dell'appartamento, garantendo un ampio ingresso di luce ed una meravigliosa vista sulla vallata. La geometria scandita dalle aperture è regolare, ma il disallineamento di alcune di esse rispetto il modello regolatore, crea uno sfasamento che smorza la rigidità dello schema di facciata.

La Casa Montarina è circondata dal giardino ad ovest e dalla strada di accesso ad est; una via dritta e a lenta percorrenza collega altre sei palazzine. Gli appartamenti si sviluppano da est a ovest e sono disposti su mezzi livelli. L'edificio in esame dispone di quattro accessi privati per le rispettive abitazioni; i primi due si trovano ad est al quarto piano fuori terra e sono collegati alla strada tramite un ponte di 6 m. I secondi si trovano al terzo piano fuori terra, al di sotto del ponte e perfettamente in linea con gli accessi sovrastanti. La morfologia pendente della vallata ha, dunque, permesso al progettista di posizionare gli accessi ad altezze diverse sull'edificio, garantendo così un ingresso indipendente per ogni appartamento.

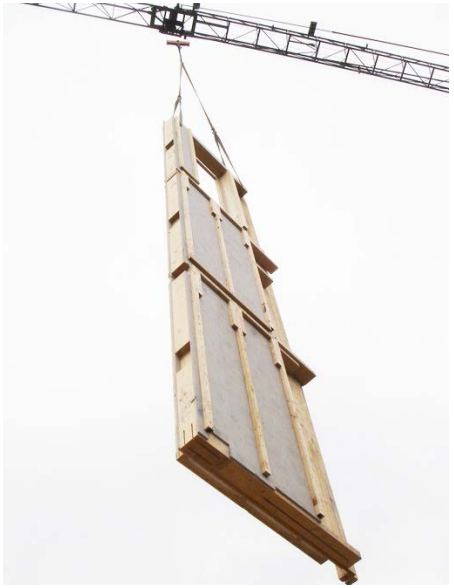
In ogni stanza è possibile disporre di ampi armadi a muro su tutta la larghezza dei locali. I vani scala che permettono di muoversi all'interno di questi spazi sono disposti al centro del fabbricato, adiacenti alle pareti nord e sud. Lo spazio centrale, a tutti i livelli, è prevalentemente dedicato alla cucina e al bagno, la zona notte è perlopiù disposta ad ovest su tutto l'edificio, fatta eccezione per il terzo piano dove sono disposte sul lato est verso la vallata e sotto il piccolo ponte di accesso, al fine di assicurare una maggiore luminosità alla zona giorno. Le aperture, la disposizione architettonico-compositiva e l'orientamento del palazzo, permettono al sole di illuminare contemporaneamente entrambe le zone principali di ogni appartamento.

Vista dal salotto verso la scala, Casa Montarina, Arch.Lorenzo Felder, Lugano 2008.

Posizionamento dei setti portanti prefabbricati interni, Casa Montarina, Arch.Lorenzo Felder, Lugano 2008.

Il concetto strutturale del fabbricato si basa sul sistema costruttivo a pannelli portanti. I setti, destinati a trasmettere il carico alle fondazioni, sono quelli paralleli alle curve di livello della vallata e sono quattro, gli altri, esposti a nord e sud perpendicolarmente alla vallata, hanno il compito di controventare il fabbricato.

Il fabbricato, poggia su una piastra di fondazione in cemento armato disposta su tre livelli, preordinata per l'arrivo dei pannelli portanti in legno. Il sistema utilizzato prevede la realizzazione dei pannelli portanti multipiano interamente in fabbrica, completi di isolante interno e predisposti per il fissaggio del rivestimento interno ed esterno. Le pareti a pannelli portanti con struttura a telaio, differiscono dal sistema Platform Frame per la loro dimensione complessiva realizzata in fabbrica (in questo caso sono alte 3 piani per garantire la massima continuità al materiale invece nel Platform frame si interrompono ogni piano), per le dimensioni dei montanti interni in abete e per l'assemblaggio degli elementi prefabbricati in cantiere. La parete perimetrale portante è costituita da pilastri in legno di diverse dimensioni, tra questi è inserito l'isolante e il tutto è tamponato con pannelli di OSB. Ogni parete prefabbricata è predisposta per l'appoggio dei solai ad altezze prestabilite dal progetto esecutivo e si ancora alla fondazione tramite piastre in acciaio ad "L". Le pareti perimetrali giungono in cantiere già complete di rivestimento interno, impianto idraulico ed elettrico, il



Trasporto tramite gru del setto prefabbricato

tutto tamponato con pannelli in cartongesso. I solai invece, sono costituiti da elementi scatolari tipo Lignatur di spessore 14 cm; unendosi con le pareti portanti formano una scatola rigida ad ogni piano. I 280 elementi che compongono l'edificio sono stati disegnati pezzo per pezzo, in modo da poter essere tagliati con una macchina a controllo numerico e assemblati nei capannoni della ditta Laube a Biasca.

Ogni elemento costruttivo prefabbricato è stato portato in cantiere tramite l'ausilio di auto articolati. I pannelli portanti sono stati posti con precisione grazie l'utilizzo della gru, che ha permesso di gestire più facilmente quelli di grandi dimensioni, in condizioni complesse (vista la morfologia del sito). Complessivamente, la pianificazione e la costruzione grezza degli elementi è durata cinque mesi, è servito un mese e mezzo per la fase di montaggio dei prefabbricati compresa del termine di rivestimento. Casa Montarina può essere considerata il primo edificio moderno interamente realizzato in legno e, in merito agli aspetti energetici l'edifico, è in cima agli standard di risparmio energetico e di scelta dei materiali, certificati Minergie Eco.

Sulla destra il raddrizzamento fotografico della facciata, Casa Montarina, Arch. Lorenzo Felder, Lugano 2008.

Planimetria tecnologica di pilastri, montanti e tamponamenti con sovrapposizione della griglia modulare - scala 1.200

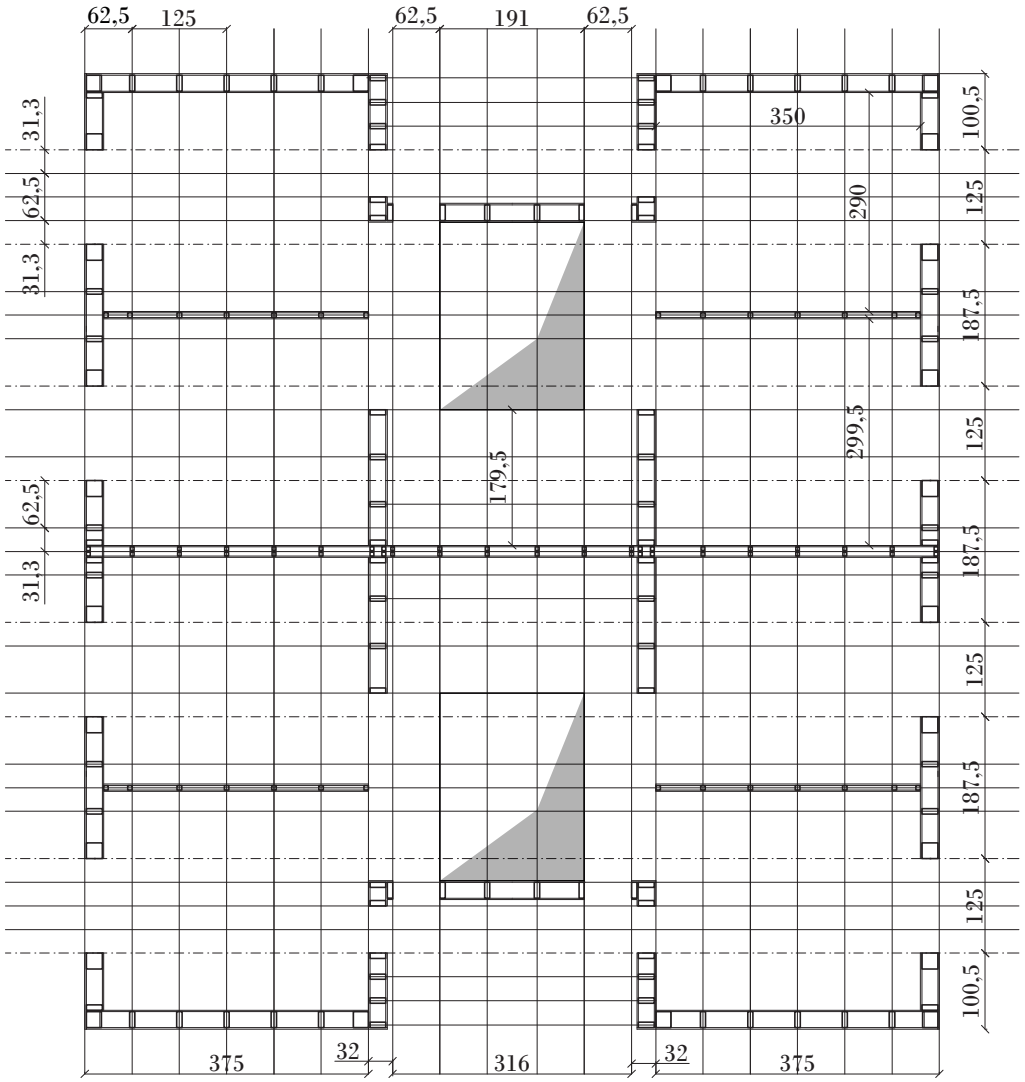
Lo studio prevede il ridisegno della planimetria "tipo" , con particolare attenzione a quelle che è il posizionamento degli elementi strutturali all'interno dell'involucro e delle pareti portanti. Il disegno rappresenta la struttura delle pareti del piano primo; le linee si posizionano al centro di ogni montante strutturale e evidenziano una modularità costruttiva di 62,5 cm per le pareti non soggette al carico del solaio (pareti trasversali) e 31,5 cm per alcuni setti destinati al carico del solaio, il posizionamento delle aperture è inserito all'interno della griglia modulare di 31,25 cm, ed ogni apertura è larga 125 cm (come quattro moduli da 31,25 o due da 62,5 cm).

A differenza delle linee continue che si posizionano al centro dei montanti strutturali, le linee tratto punto sono adiacenti all'apertura che viene inserita tra due pilastri in legno lamellare avente sezione 20 cm x 20 cm.

La linea guida genereale rimane quindi strettamente legata al pannello che tampona la struttura, e lascia libera la disposizione delle componenti strutturali (pilastri 20x20). Per quanto riguarda i montanti si mantiente una rigidità dispositiva in quanto la fine di ogni pannello necessita coincidere con l'asse centrale di ogni montante per permettere un corretto posizionamento dello stesso, garantendo quindi un appoggio minimo consentito di 3 cm dove poter predisporre l'avvitatura.

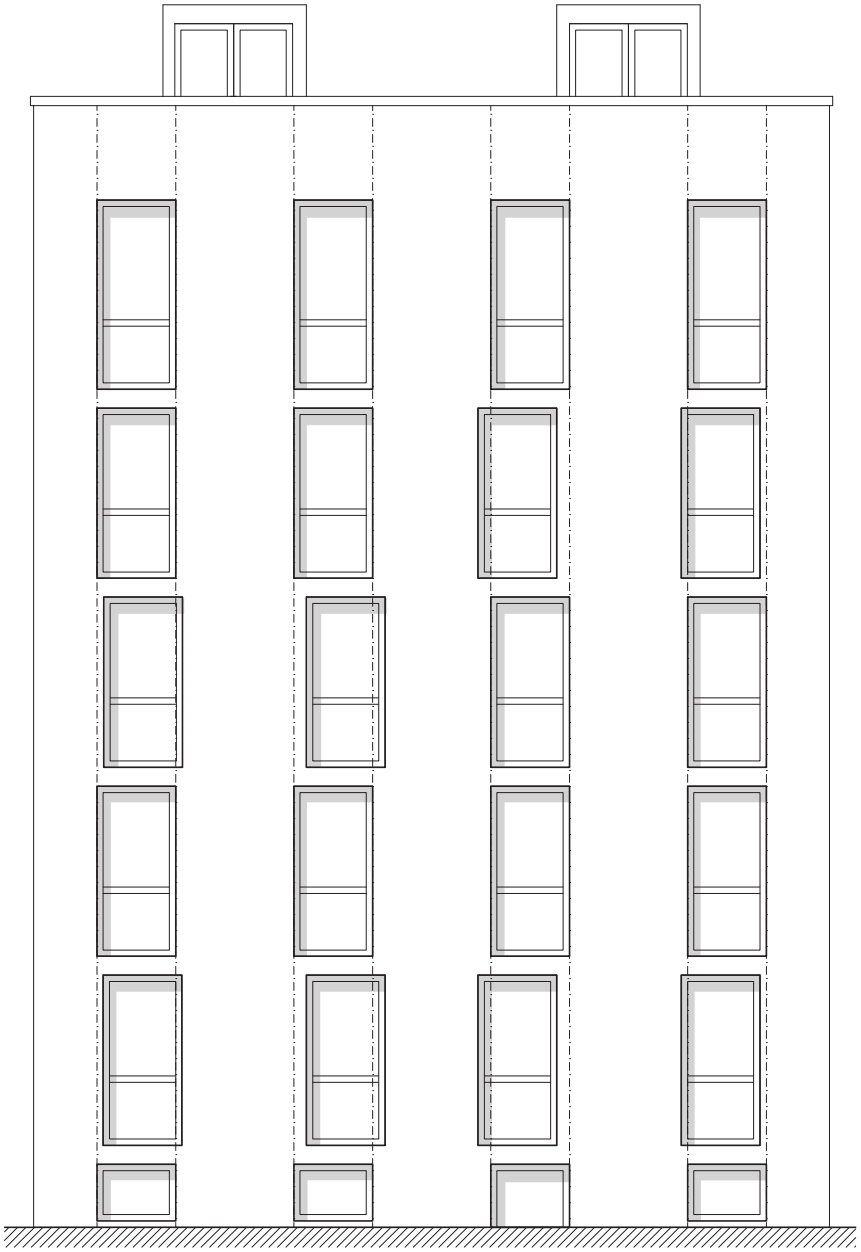
La geometria scandita dalle aperture è regolare, ma il disallineamento di alcune di esse rispetto il modello regolatore, crea uno sfasamento che smorza la rigidità dello schema di facciata.

Ridisegno del piano primo e analisi della modularità attraverso la griglia



Prospetto con sovrapposizione della griglia modulare - scala 1.200

Attraverso lo studio dell'alzato tramite la griglia (utilizzata per la disposizione degli elementi costruttivi dell'edificio), si può individuare dettagliatamente lo sfasamento rispetto alla regolarità di alcune aperture.
Dal prospetto si evince come alcune aperture più esterne del prospetto siano sfasate verso l'interno di 10 cm, diversamente per le file più centrali, lo sfasamento è di 20 cm.
Considerando come linea guida il primo e ultimo piano, si può intuire come nei piani intermezzi ci sia una rottura della modularità per quanto riguarda il posizionamento delle aperture ma non per la loro dimensione. Tale modularità però rimane se viene rapportata alla ripetizione dello sfasamento: sempre di 10 cm per quelle esterne e sempre di 20 cm per le aperture più centrali.
Le dimensioni in questione riprendono quelle degli elementi principali che compongono la struttura generale del fabbricato; 20 x 20 cm corrispondenti alla sezione del pilastro in legno affiancato ad ogni apertura e agli angoli dell'edificio, e 10 x 20 cm corrispondenti alla sezione dei montanti della struttura.
Lo "sfasamento modulare" viene generato grazie all'aggiunta o sottrazione di tali elementi ai fianchi dell'apertura; è dunque necessario che il pilastro portante non si sposti lungo la diretrice verticale per permettere un normale trasferimento dei carichi alle fondazioni senza interruzioni, ma è possibile inserire l'apertura all'interno di uno spazio (tra pilastro e pilastro) con una possibilità di sfasamanto pari a 20 cm per le aperture più centrali al prospetto e di 10 cm per quelle più esterne.



Sulla destra il ridisegno del prospetto e l'analisi dello sfasamento delle aperture attraverso le linee modulari, Casa Montarina, Arch.Lorenzo Felder, Lugano 2008.

3 - Alpenhotel Ammerwald[57]

"Le 96 camere ben si prestavano alla costruzione modulare in legno, che offriva anche il vantaggio del risparmio di tempo, e di costi, vista la possibilità di realizzare il tutto in stabilimento, in una situazione di produzione quasi industriale [...]"

Oskar Leo Kaufmann, "Consegna Franco Domicilio", Alberto Alessi. Materialegno04, L'abitare intenso, Marzo 2012.)

L' Alpenhotel Ammerwald situato a Reutte in Austria al centro di una stretta valle del Tirolo è stato realizzato nel 2009, successivamente alla demolizione del precedente Hotel per congressi appartenente alla BMW. Caratteristica predominante della struttura è l'architettura sostenibile e contemporanea contraddistinta da ampi spazi, modularità compositiva e nette linee geometriche rese dalla tecnologia realizzativa constante di cellule tridimensionali prefabbricate.

L'edificio a pianta complessiva di forma ad "L" si sviluppa in 5 piani fuori terra, circondando il parco adiacente. Le superfici semplici di questa struttura si estendono come due parallelepipedi rettangoli uniti ortogonalmente alle estremità, di modo che il volume completo segni

[57] Il testo riportato rappresenta una rielaborazione delle informazioni ricavate in: MARTINA PFEIFER STEINER, ALBERTO ALESSI, *Consegna franco domicilio. Un'architettura forte rilegge un luogo montano partendo da una consapevolezza costruttiva adeguata e sorprendente*, in "Promolegno: Rivista sul legno e i suoi usi in architettura" (allegato all'edizione 956/12 della rivista Domus), Materialegno Numero 04, L'abitare intenso. Vivere nel legno un ambiente adatto a tutte le stagioni, marzo 2012.

A lato la vista dall'esterno dell' Alpenhotel Ammerwald, progettato da Oskar Leo Kaufman, Ruette, Austria, 2009.

Alpenhotel Ammerwald

un evidente taglio netto con le forme morbide della natura circostante. Gli spazi all'interno dell'Hotel si articolano seguendo la gerarchia dimensionale e strutturale delle stanze. Nei primi due piani fuori terra, più l'interrato, troviamo spazi dedicati al relax e al fitness, sale riunioni e ristoranti.

I tre piani sovrastanti sono invece interamente destinati alle camere per il pernottamento, le quali vengono raggiunte attraverso un vano di distribuzione verticale, posizionato al centro del parallelepipedo e atri due alle estremità. Il vano centrale, è composto da scale e ascensori che incrociano i rettilinei corridoi ad ogni piano, necessari a raggiungere le stanze. Lo spazio destinato al pernottamento è essenziale e luminoso grazie alle tre ampie aperture verticali presenti in ogni stanza. Le zone letto, scrivania, relax, armadio e bagno sono saggiamente articolate in circa 20 mq di spazio, tanti quanti sono i metri quadrati del modulo tridimensionale prefabbricato.

Posizionamento dell'isolante nell'involucro della cellula prefabbricata.

Vista dall'interno della camera dell' Alpenhotel Ammerwald.

La gestione degli spazi all'interno dell'Hotel si adegua alle possibilità architettonico-strutturali dell'edificio; infatti, primi tre piani costruiti in cemento armato gettato in opera, permettono di ricavare spazi più estesi date le caratteristiche strutturali del sistema costruttivo scelto, permettendo di gestire con più facilità le ampie sale destinate a ricreazione ristornati e congressi. Gli ultimi tre piani sono realizzati con un sistema costruttivo in legno a cel-

Fasi finali della costruzione in fabbrica: posizionamento del serramento.

lule tridimensionali prefabbricate che si adatta perfettamente alle esigenze funzionali dell'Hotel.

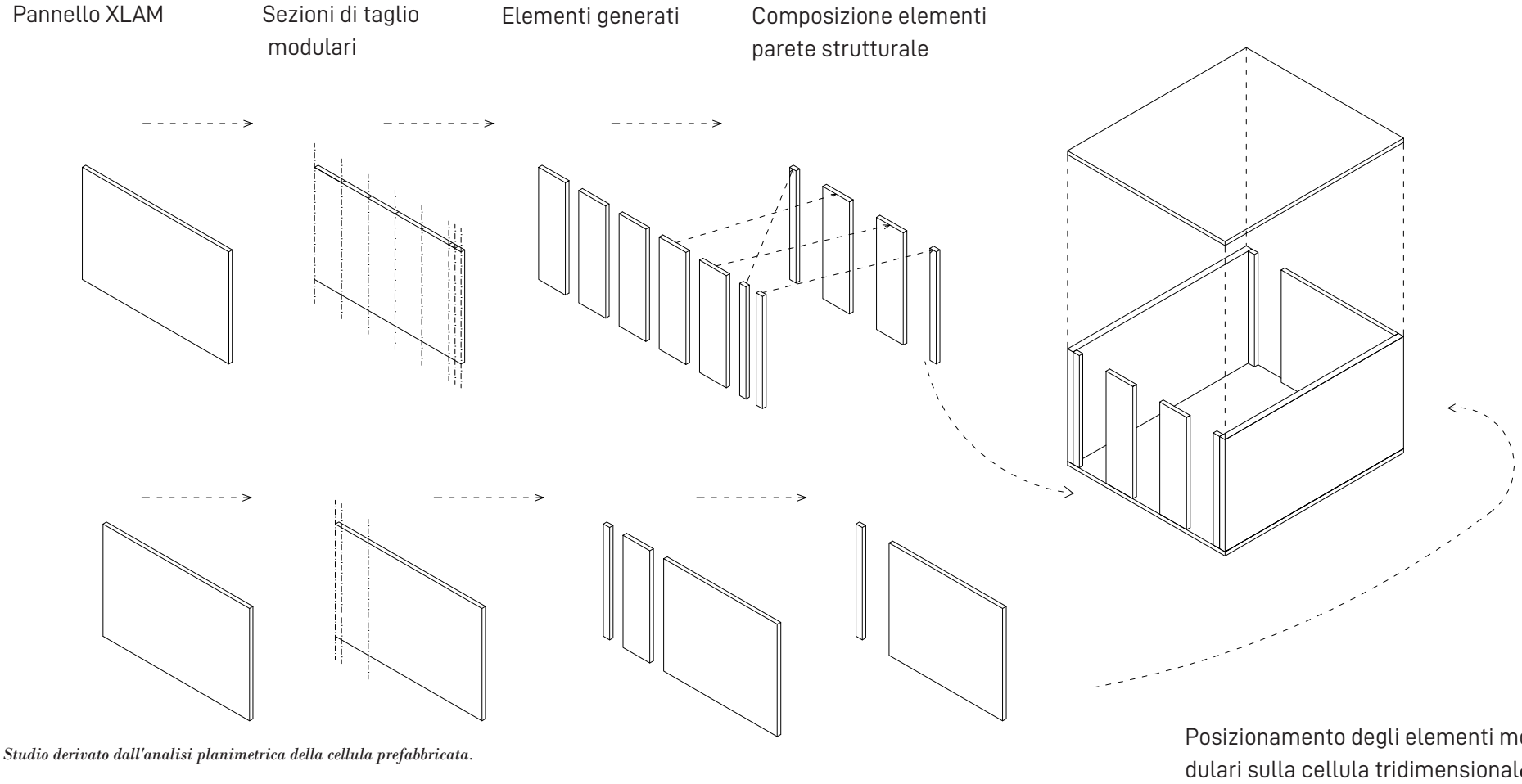
Le camere – interamente assemblate in fabbrica – sono complete di installazioni e costruite completamente in legno, appositamente rivestito e trattato nelle superfici interne per garantire durabilità anche negli spazi più umidi come i bagni.

La struttura della cellula è totalmente realizzata in XLAM (pannelli in legno massiccio a strati incrociati di lamelle, sovrapposti e incollati uno sull'altro in modo che la fibratura di ogni singolo strato sia ruotata nel piano di 90° rispetto agli strati adiacenti). Il taglio dei pannelli è gestito tramite l'uso della tecnica c.d. CNC (Controllo Numerico Computerizzato). Le possibilità offerte dalla prefabbricazione permettono di assemblare impianti, rivestimenti, arredi, finiture e serramenti interamente in fabbrica; grazie a un processo ben organizzato di azioni. La cellula tridimensionale finita, viene dunque trasportata in sito – priva unicamente degli strati di cappotto e finitura esterni – e lì assemblata alle altre a formare il volume finale. Le 96 camere posizionate in soli 10 giorni per la realizzazione dell'intero edificio, vengono trasportate durante la notte tramite autoarticolati e posizionate a due a due, con le rispettive pareti dei bagni adiacenti, sulla struttura in cemento armato sottostante. Le accortezze tecnologiche garantiscono un comfort abitativo elevato; le stanze, infatti, appoggiando l'una all'altra attraverso una frizione di neoprene, che favorisce notevolmente il disaccoppiamento acustico.

L'ultima fase, interamente sviluppata in opera, è stata dedicata all'isolamento dell'intero edificio, con il posizionamento della lana di roccia, delle barriere anti vento e del rivestimento finale in lamiera di acciaio inox opportunamente lucidata. Le attenzioni progettuali e costruttive hanno permesso di realizzare una struttura compatta e quindi energeticamente efficiente, con emissioni neutrali di CO_2 e con un consumo pari

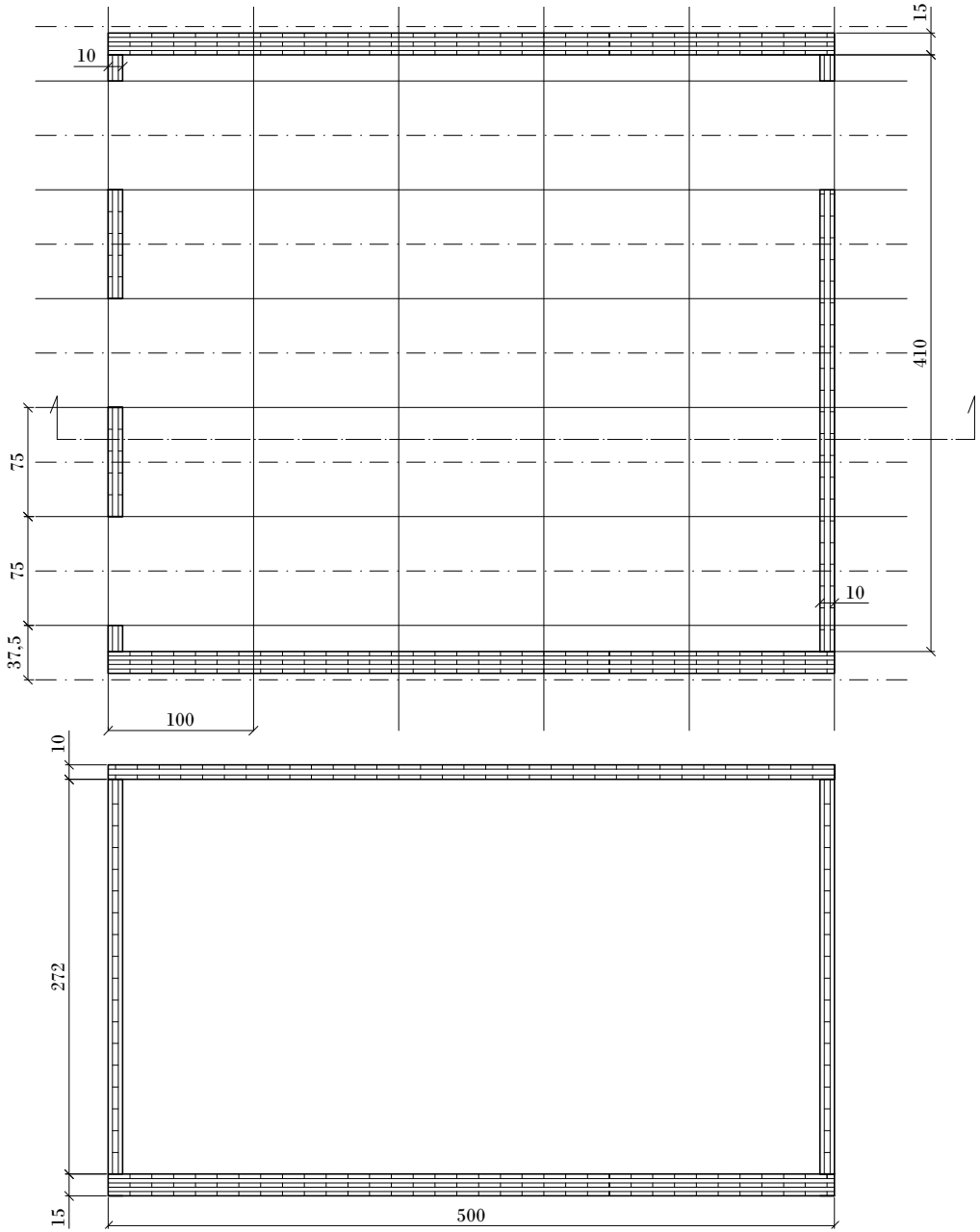
Fasi di cantiere: posizionamento del modulo prefabbricato attraverso gru.

Disegno delle fasi principali per la realizzazione dei pannelli XLAM e il montaggio della cellula prefabbricata



Studio derivato dall'analisi planimetrica della cellula prefabbricata.

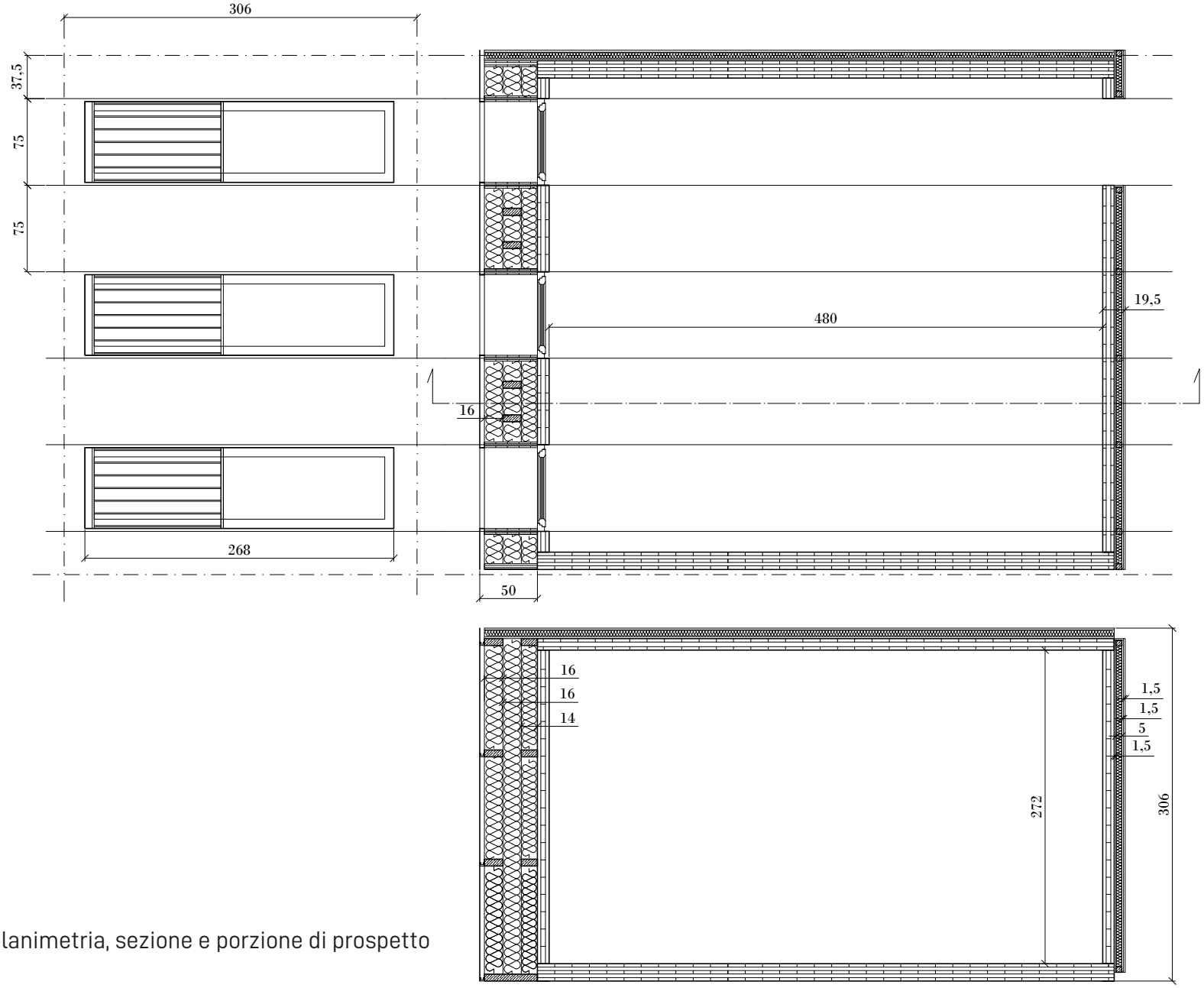
Studio modularità setti in XLam attraverso disegno di planimetria e griglia modulare - scala 1.50



al 40% in meno rispetto al passato.
Dal disegno planimetrico del progetto è possibile ricavare le dimesnioni de componenti in X-Lam utilizzati per la realizzazione della celluala prefabbricata.
Dall'analisi compositiva si individuano delle linee guida progettuali distanziate l'una dall'altra di 75 cm che guidano il posizionamento dei setti portanti, la disposizione delle aperture esterne e lo spazio destinato all'alloggiamento della porta interna.

Le dimensioni della parete portante interna in X-Lam sono di 410 x 272 x 10 cm; da qui la generazione delle linee guida modulari che portano alla formazione di elementi modulari predisposti sull'involucro esterno atte a definire la geometria delle aperture sulla facciata esterna.

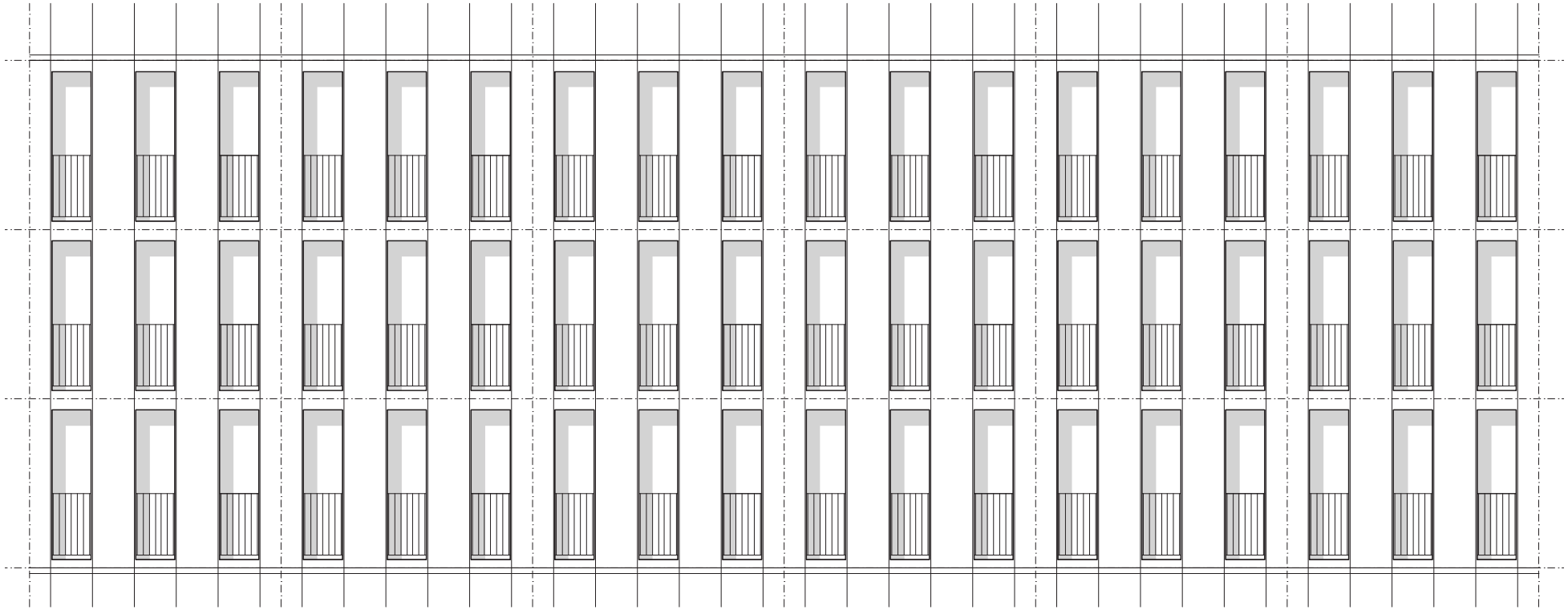
Come si nota nello schema assonometrico gli elementi sono generati per garantire un completo utilizzo del setto iniziale.
Dal taglio vengono generati 5 setti con dimensioni 75 x 272 x 10 cm più due elementi di bordo avente dimensione 18,75 x 272 x 10 cm. Utili alla composizione della cellula sono 2 elementi da 75 cm e due da 18,75, le altre parti vengono utilizzate per la composizione della cella parte strutturale di altre stanze prefabbricate avente stesse dimensioni.



Disegno di planimetria, sezione e porzione di prospetto - scala 1.50

Ridisegno di una porzione di prospetto dell'edificio e applicazione della griglia modulare ricavata dalla planimetria

L'accoppiamento della cellula alle altre segue le linee guida modulari, e viene gestito tramite una rete più fitta ogni 32,5 cm che cade a metà del pannello isolante tra una cellula e l'altra. Per comprendere meglio tale disposizione è utile osservare il disegno tecnologico in scala nella pagina successiva. Tramite il ridisegno del prospetto che segue le dimensioni effettive del progetto di Oskar Leo Kaufmann si può individuare la modularità compositiva già studiata sulla planimetria.
La ripetizione della cellula genera una ripetizione modulare dichiarata tramite le aperture che scandiscono la facciata; lo studio della tecnologia realizzativa permette di individuare quelle che sono le connessioni e gli accorgimenti necessari affinchè il progetto possa mantenere una validità relaizzaiva coerente con le dimensioni degli elementi utilizzati e con la volontà espressiva dell'architetto.



Capitolo II - Le nozioni di G.Ciribini applicate alla prefabbricazione intelaiata leggera

2.1 L' elaborazione della griglia modulare

2.1.1 Dai dati al dimensionamento

«Il coordinamento dimensionale è visto nel quadro dell'azione normalizzatrice come il mezzo più sistematico e più efficace ai fini dell'integrazione dimensionale degli standard di prodotto. Si forma così un tutto organico atto a inserirsi in modo conveniente in potenziali contesti architettonici anzichè avere una catena di episodi staccati e reciprocamente indifferenti. [...]» [58]

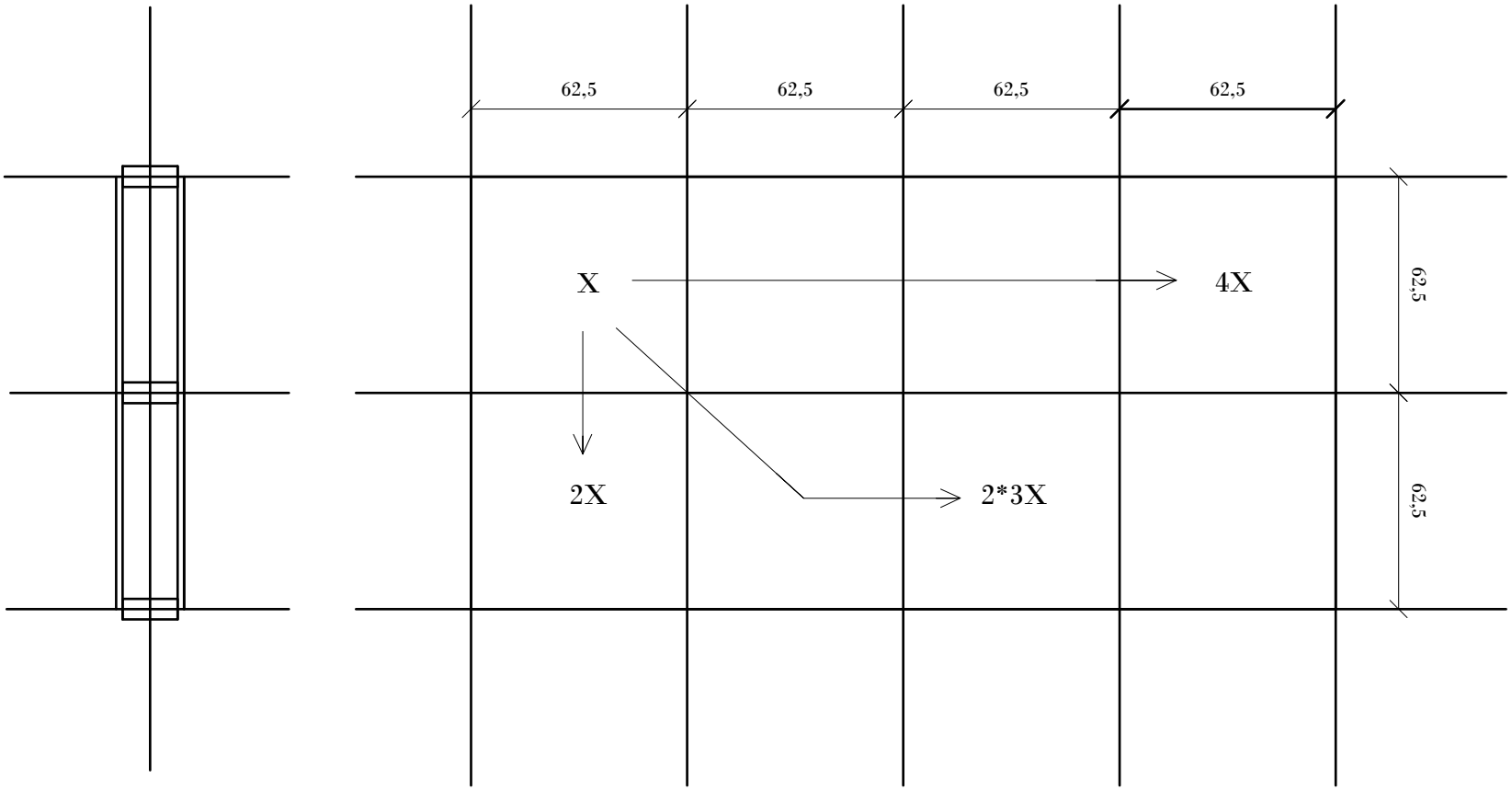
Il dimensionamento della griglia di progetto è strettamente legato ai dati dimensionali relativi alle componenti principali del sistema costruttivo intelaiato leggero e alle necessità compositive dell'architettura.
Per questo motivo vengono analizzate dal punto di vista dimensionale i tre principali componenti che compongono la parete prefabbricata; *pannello OSB, telaio in legno e isolante in fibra di legno a bassa densità.*

- Il *telaio* è composto da elementi in abete rosso portante opportunamente sagomati per realizzare le sezioni necessare al fine di rispettare il progetto strutturale. Le sezioni 16 x 6 cm adoperate nel sistema costruttivo in esame permettono di realizzare ville fino a 2 piani furoi terra se disposti a distanze regolari. Le distanze tra un interasse e l'altro del montante in abete rosso sono influenzate dall'accoppiamento di più fattori; strutturali e dimensionali, quest'ultimo tiene in considerazione le caratteristiche dimensionali del *pannello OSB* e dell'*isolante in fibra di legno*.

Pannelli in OSB sovrapposti

[58] DANIELA BOSIA, L'opera di Giuseppe Ciribini, (collana Ricerche di tecnologia dell'architettura), Franco Angeli Edizioni, Milano 2013, p.68.

Porzione di parete: sezione orizzontale e prospetto con rielaborazione della scala normale di grandezze di G.Ciribini - scala 1.20



Il disegno della griglia modulare rapportata al telaio e al pannello in OSB standard

- Il *pannello OSB* come gran parte delle componenti per l'edilizia presenta delle dimensioni standard prodotte dalle aziende. Le dimensioni del pannello e le sue caratteristiche fisiche conferiscono allo stesso la possibilità di essere impiegato adeguatamente a seconda delle condizioni del progetto. La rarghezza dei panneli varia da 120 cm a 250 cm e l'altezza da 244 cm fino 500 cm, lo spessore varia da 0,6 cm a 4 cm. Il pannello *standard* prodotto dalle aziende operanti sul mercato ha dimensioni di 125 x 250 cm con spessori che variano da 1,2 a 1,8 cm L'azienda all'interndo della quale ho affrontato l'esperienza di tirocinio utilizza per il tamponamento della struttua a telaio il pannello standard OSB 3 avente dimensioni di 250 x 125 x 1,8 cm. Il pannello viene posto sulla struttura a telaio e i bordi vengono centrati sull'interasse del montante strutturale al fine di lasciare lo spazio predisposto al pannello successivo.

Dimensioni in commercio dei pannelli in OSB [http://www.i-panspa.com]

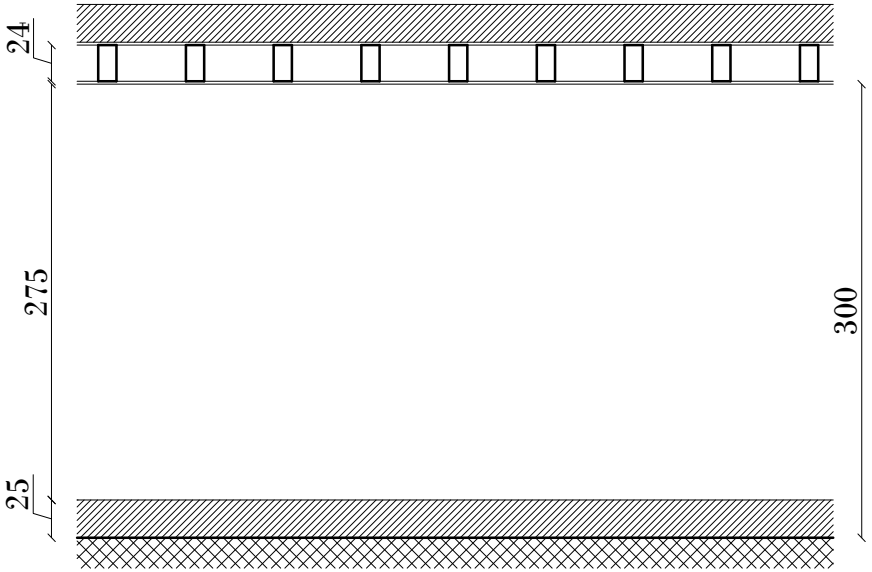
	STANDARD	SPESSORI													
MISURE (mm.)		6	8	9	10	11	12	15	18	20	22	25	30	35	40
Nr. fogli per pacco		168	128	114	103	93	85	68	57	51	46	41	34	29	25
OSB															
1220 x 2440		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1250 x 2500	*	•	•	•	•	•	X	X	X	•	•	•	•	•	•
1250 x 2650							•								
1250 x 2800							•	•							
1250 x 3000							•								
1250 x 4000							•								
1250 x 5000								•				•			
2500 x 5000				•			•	•	•		•	•			
OSB M+F 2 lati o 4 lati															
625 x 1250							•	•	•		•	•			
625 x 2500	*						X	X	X		•	•			
1220 x 2440							•	•	•		•	•			
1250 x 2500							•	•	•		•	•			

L'*isolante in fibra di legno* posto all'intenro dell'intercapedine presenta delle dimensioni standard che garantiscono una corretta posa nel sistema costruttivo a telaio. Grazie alla caratteristica di comprimibilità può essere facilamente inserito tra i montanti strutturali anche se sono presenti delle piccole variazioni dispositive degli stessi. Le dimensioni standard del pannello prevedono una larghezza di 57,5 cm, un altezza di 120 cm e uno spessore variabile da 4 a 16 cm. Lo spazio libero nella parete destinato a ricevere il pannello è di 56,5 cm, ovvero 1cm in meno delle dimensioni standard del componente. Lo scarto dimensionale può quindi essere gestito attraverso una leggera compressione delle fibra di legno.

L'accoppiamento di questi tre elementi costituisce le parete prefabbricata portante del sistema intelaiato *platform-frame*. La scelta di suddividere il pannello tramite una griglia modulare di 62,5 cm è dettata dalle caratteristiche di ogni componente e si prefigge come obbiettivo quello di prevedere lavorazioni di taglio sulle componenti in gioco atte a generare solo componenti riutilizzabili e standardizzati.

Il sub sistema verte dunque sull'utilizzo di una griglia modulare utilizzata come modello regolatore, da adoperare come strumento guida fin dalle prime fasi progettuali. Essa ha perciò l'obbiettivo di guidare i rapporti di dipendenza delle grandezze dimensionali fra di loro. Lo sviluppo della griglia dimensionale avviene attraverso l'integrazione di modelli che implementano gli aspetti funzionali e meccanici dell'organismo architettonico; l'accopiamento delle componenti, la tecnologia realizzativa delle aperture sull'involucro e l'unione delle pareti prefab-

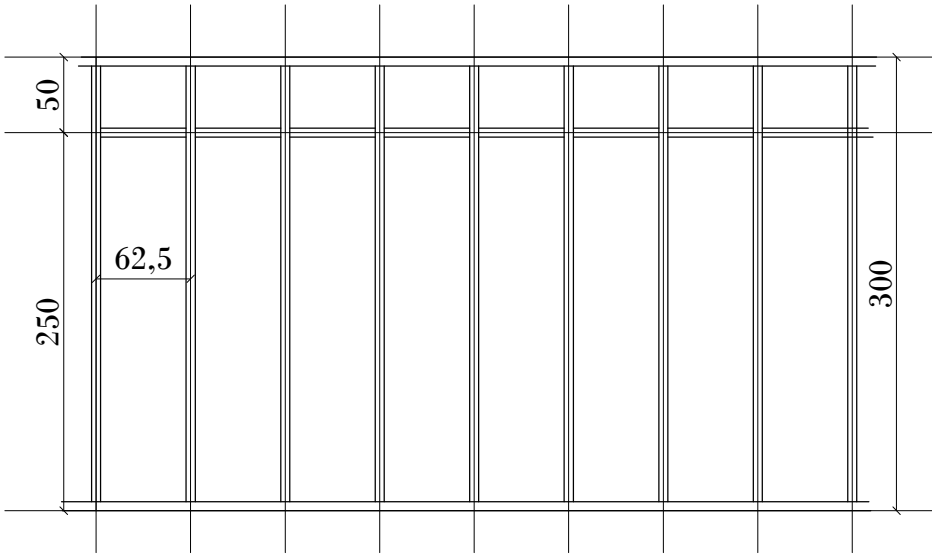
Disegno sezione verticale per individuazione dimensioni utili

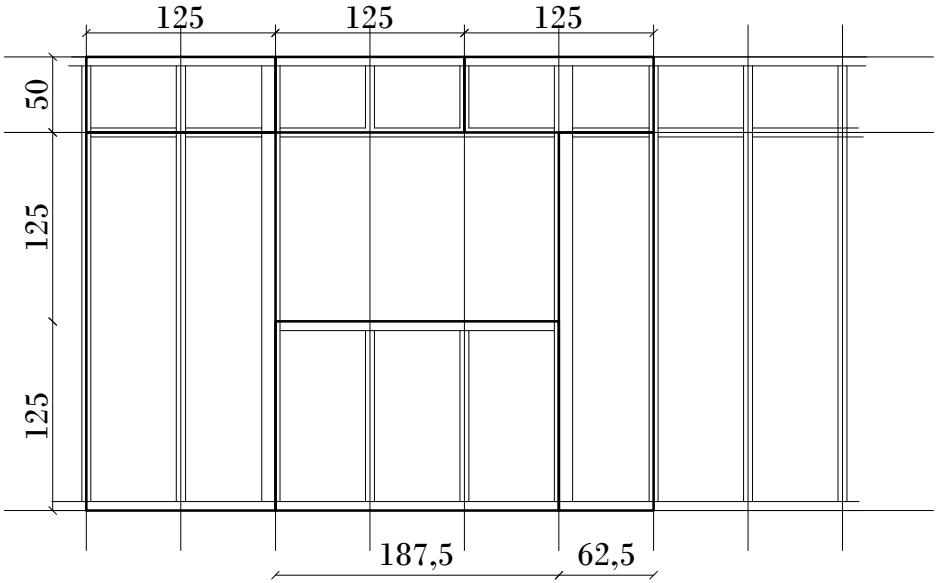


Prospetti: interpiano e geometrie principali di telaio e OSB - scala 1.100

bricate.
Nelle rappresentazioni viene mostrata una sezione verticale di un abitazione tipo per individuare facilmente lo spazio destinato alla parete prefabbricata e le relazioni necessarie con le componenti appartenenti al solaio del piano terra e del piano primo.

Attraverso l'analisi dimensionale della stratigrafia del solaio (spessa 25cm oltre la linea d'appoggio della parete prefabbricata) è possibile appurare la validità della griglia che genera elementi avente altezza di 125 cm (multipli o sottomultipli di 62,5 cm). Questo permette di posizionare il davanzale all'altezza minima consentita dalla normativa contenuta nel D.M. n. 236 del 14/06/1989 oltre che il D.P.R. 27/04/1955, ovvero 100 cm dal livello di calpestio interno.

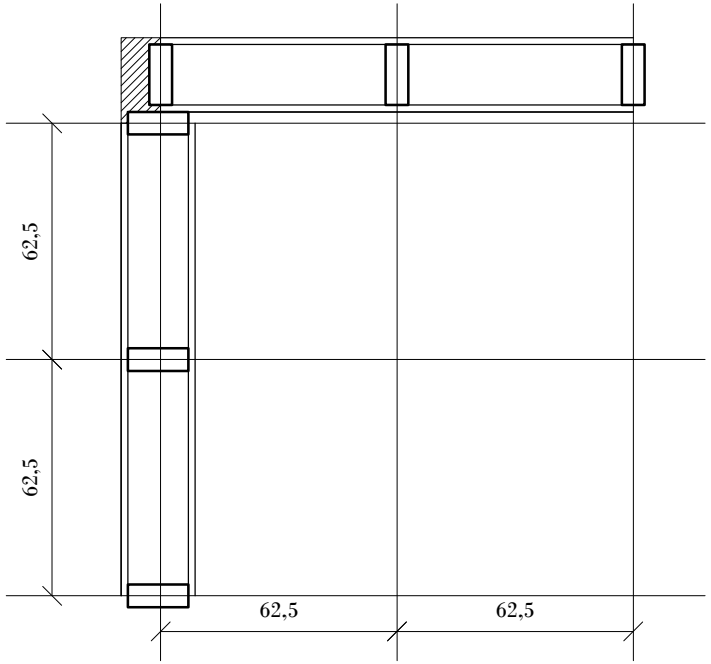




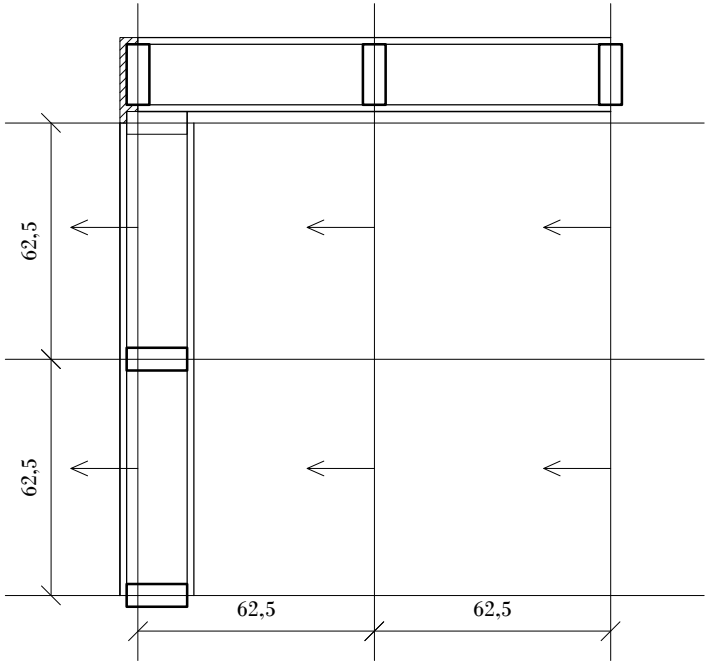
Disegno prospetti parete a tealaio e indicazione misure standard

Disegno dello sviluppo per l'accostamento parete/parete sull'angolo

Fase 1 - accostamento teorico



Fase 2 - accostamento funzionale

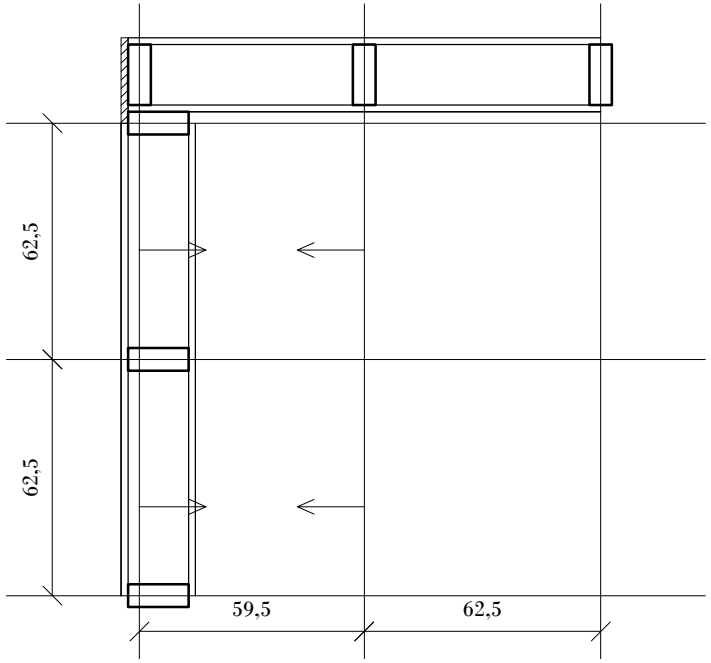


L'ipotesi di posizionare la griglia modulare al centro di ogni montante strutturale è teoricamente efficace se si considerano gli aspetti costruttivi in gioco, per esempio la giunzione delle componenti prefabbricate.
Nella figura soprastante si evidenzia la griglia quadrata di lato 62,5cm posizionata al centro di ogni montante; nello specifico si vuole mostrare l'accostamento delle pareti per la formazione dell'angolo ortogonale.

L'errore sull'angolo evideziato tramite un tratteggio inclinato mostra l'assenza di un adeguato coordinamento modulare delle componenti messe in gioco.
Per posizionare la griglia è dunque necessario cosiderare lo spessore della parete, garantendo così che l'accostamento tra le componenti prefabbricate non generi spazi vuoti sull'angolo.
Lo spazio così ridotto - tramite lo spostamento delle linee guida verticali - è strettamente legato alla sezione del montante utilizzato.

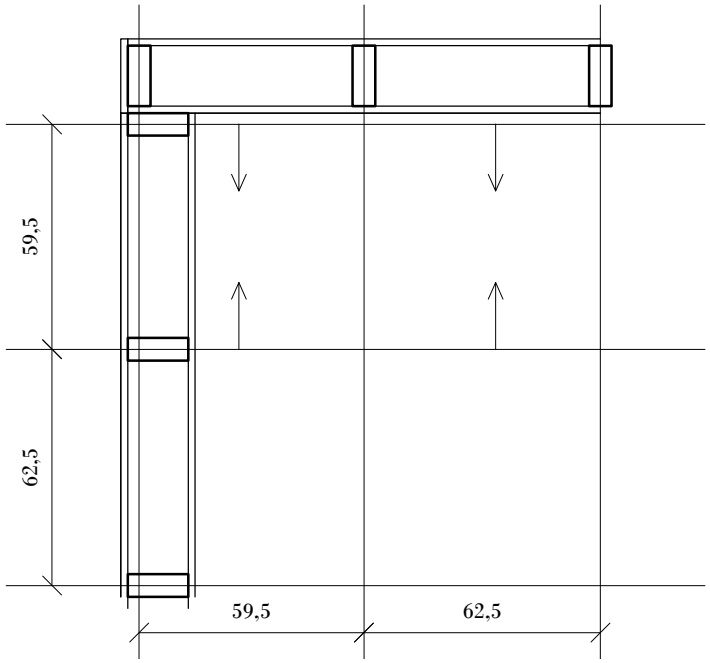
Sezioni orizzontali - scala 1.20

Fase 3 - accostamento pratico



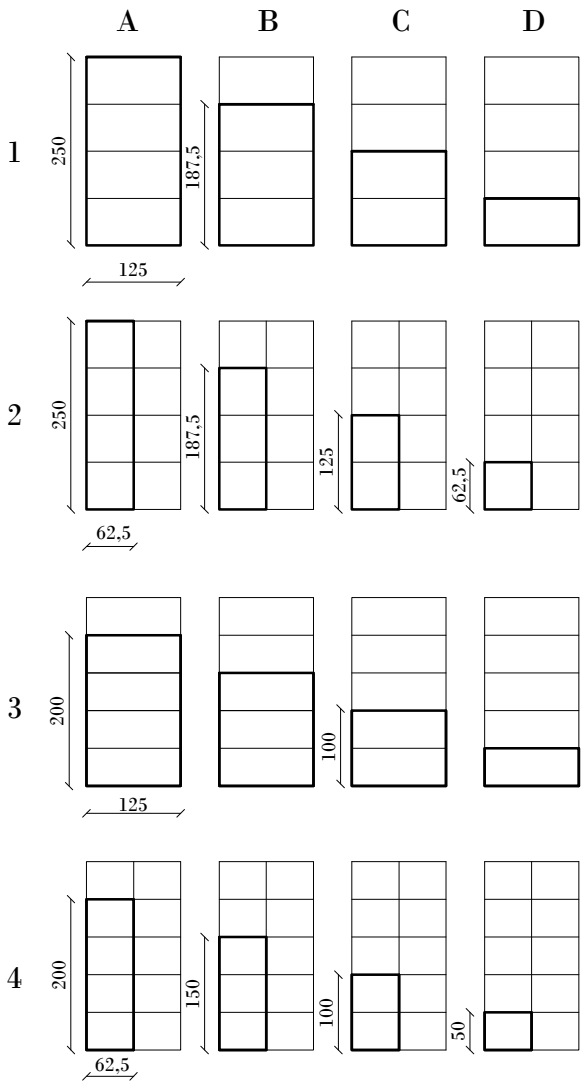
Parte dell'area recuperata attraverso l'accorgimento progettuale deve essere ulteriormente ridotta, per evitare connessioni inadatte, caratterizzate da piccoli spazi vuoti che incidono sul posizionamento dei metodi di collegamento e di sigillatura della struttura.
Dunque l'ulteriore fase progettuale consiste nel considerare la grandezza della sezione del montante, le dimensioni generali del pannello OSB e quelle tecniche dimensionali del pannello isolante in fibra di lengo inserito nell'intercapedine (tra un montante e l'altro).

Fase 3b - accostamento pratico



Risulata necessario quindi diminuire di 3cm la distanza tra un montante e l'altro in corrispondenza dell'angolo, questo permette di mantenere invariate la dimensione del pannello in OSB e di poter comprimere facilmente l'isolante in fibra di legno per predisporlo all'interno dell'intercapedine. Perciò le dimensioni e le caratteristiche fisiche delle componenti utili alla realizzazione sono dei fattori necessari per un adeguata progettazione del coordinamento modulare al fine di studiare un'adeguata procedura di accoppiamento delle parti.

Componenti modulari OSB su griglia 62,5 x 62,5 cm e 62,5 x 50 cm



Rappresentazione della divisione in moduli del pannello, le linee più spesse rappresentano il perimetro del pannello modulare, es: il pannello D2 ha dimensioni 62,5 x 62,5 cm

Attraverso le analisi delle componenti e le necessità compositive è stato utile generare un ulteriore divisione modulare dell'elemento. La griglia quadrata iniziale di 62,5 cm utilizzata come definizione del taglio sul pannello e come strumento progettuale presenta alcuni limiti compositivi legati alla costruzione che quindi possono essere superati attraverso la generazione di uno schema modulare avente dimensioni 50 x 62,5 cm.

L'esperienza di tirocinio mi ha permesso di osservare alcuni aspetti costruttivi utili alla regolazione delle fasi progettuali. Concretamente mi sono soffermato sulle *altezze del cordolo di fondazione* che variava da 0 a 25 cm a seconda che si predisponesse una platea piana o con cordolo in cemento armato. Qualora fosse previsto l'utilizzo di una platea di fondazione piana, la progettazione della parete prefabbricata poteva svilupparsi generando altezze del davanzale di 125 cm (dalla radice in legno della parete) dato che ulteriori strati della paviementazione inerna coprivano il gap di 25 cm.

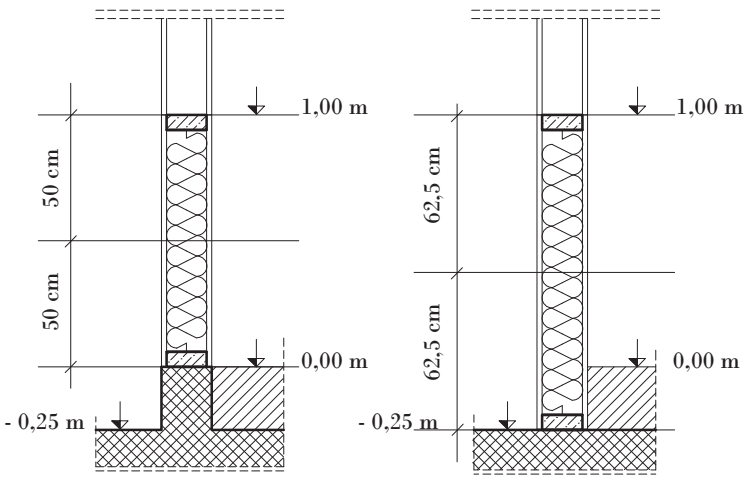
Nell'ipotesi del cordolo in cemento armato non era più possibile produrre pareti con altezze del davanzale - dalla radice in legno - di 125 cm, utilizzando quindi un pannello sviluppato sul modulo di 62,5 cm. Per risolvere il problema - data la necessita costruttiva, già affrontata in altre esperienze dall'azienda - è quindi utile suddividere il pannello in altezza ogni 50 cm, permettendo così di posizionare il davanzale ad un minimo 100 cm dal piano di calpestio.

Dunque tale strumento non si attiene solamente ad una questione di proporzioni architettoniche compositive, (per esempio il posizionamento delle aperture) ma si inserisce all'interno dei principi che governano la produzione degli elementi volti alla costruzione del fabbricato, quindi considera necessariamente le relazioni tra le componenti edilizie prodotte o da produrre.

2.1.2 La definizione dell'abaco delle aperture

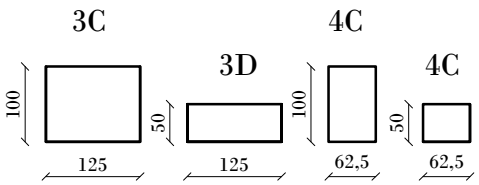
Griglia modulare 50 x 62,5 cm

Griglia modulare 62,5 x 62,5 cm

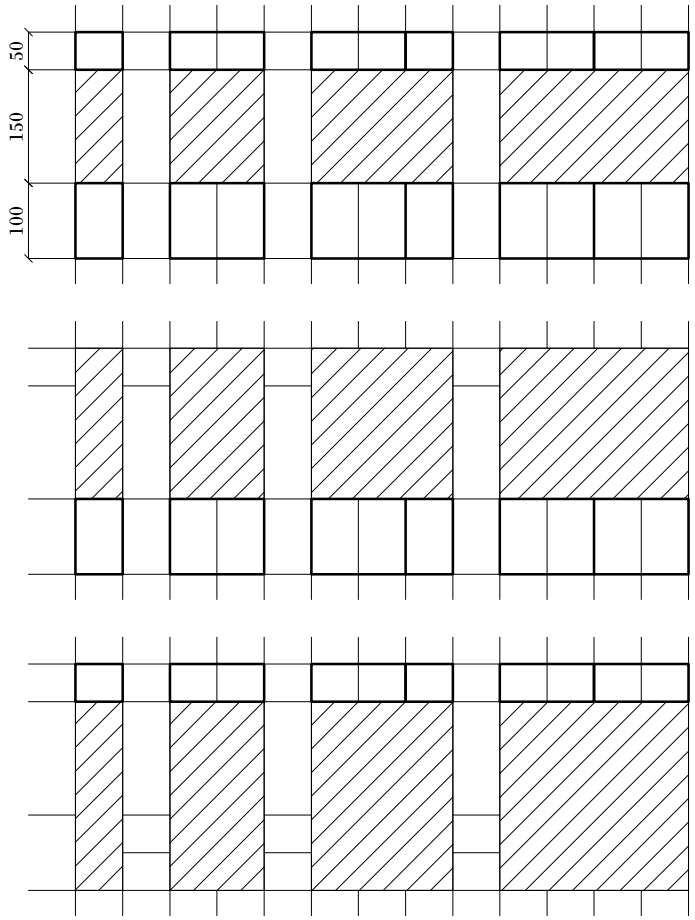


Sezione verticale parete perimetrale su cordolo o platea

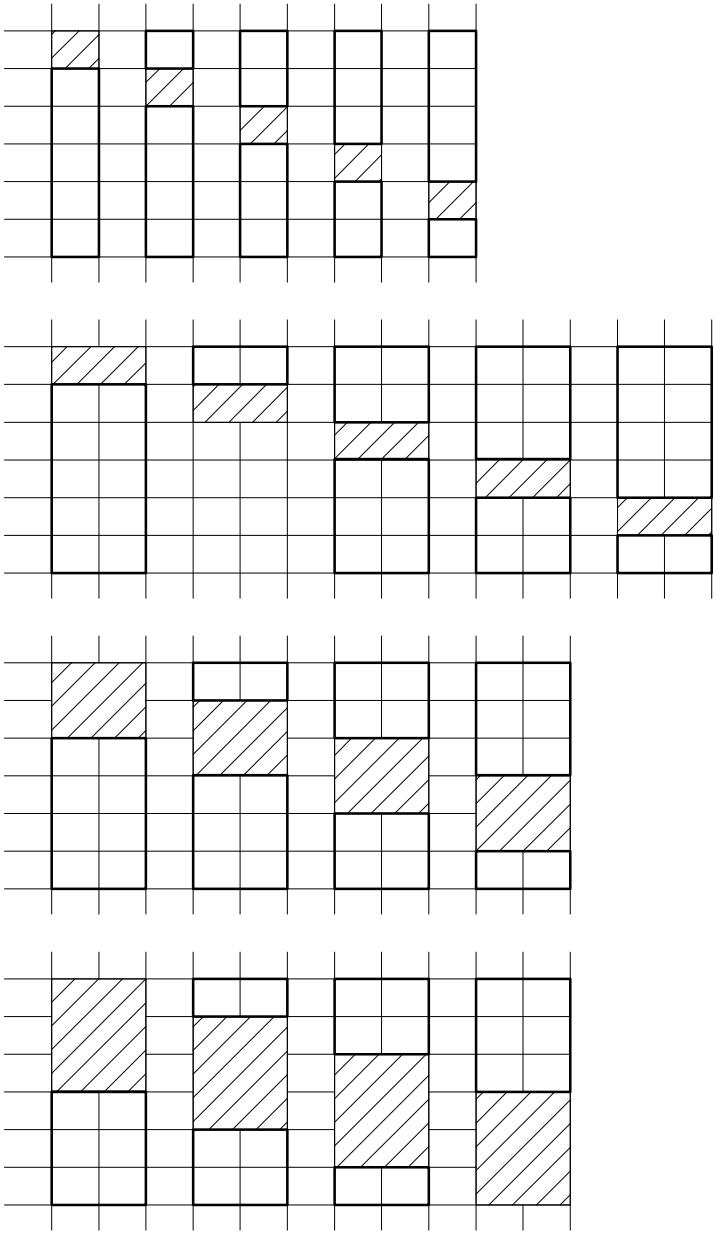
Componenti modulari di OSB (griglia 50 x 62,5 cm) necessari alla coposizione dell'abaco - 1



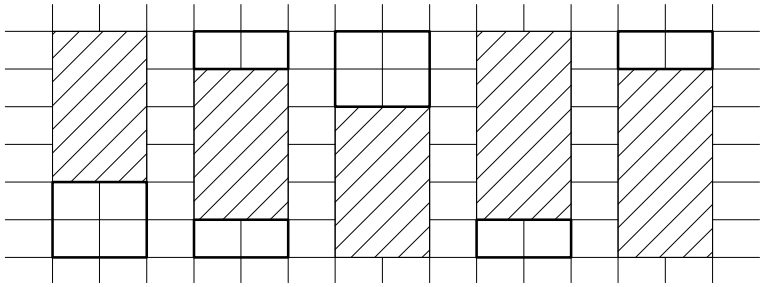
Abaco possibili aperture - 1



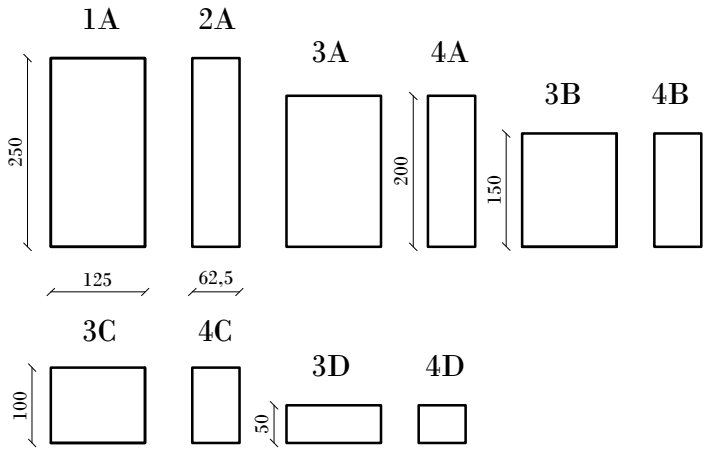
Il disegno rappresenta l'utilizzo delle componenti modulari di tamponamento(perimetro spesso) per la generazione delle aperture(area tratteggiata)sulla griglia modulare precedentemente definita.



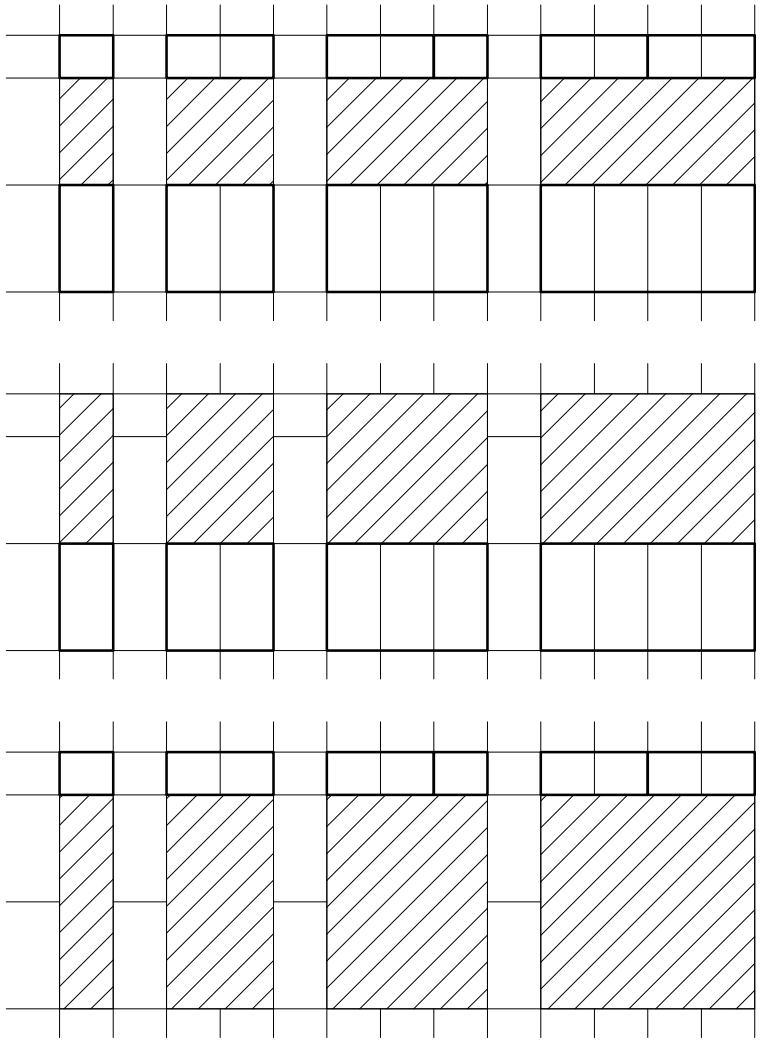
Abaco possibili aperture - 2



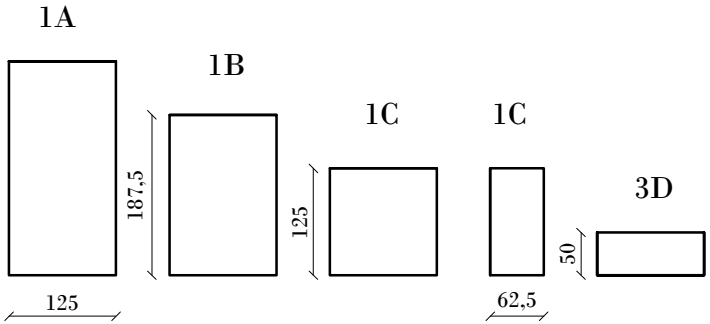
Componenti modulari di OSB (griglia 50 x 62,5 cm) necessari alla composizione dell'abaco - 2



Abaco possibili aperture - 3



Componenti modulari di OSB (griglia 62,5 x 62,5 cm) necessari alla composizione dell'abaco - 3



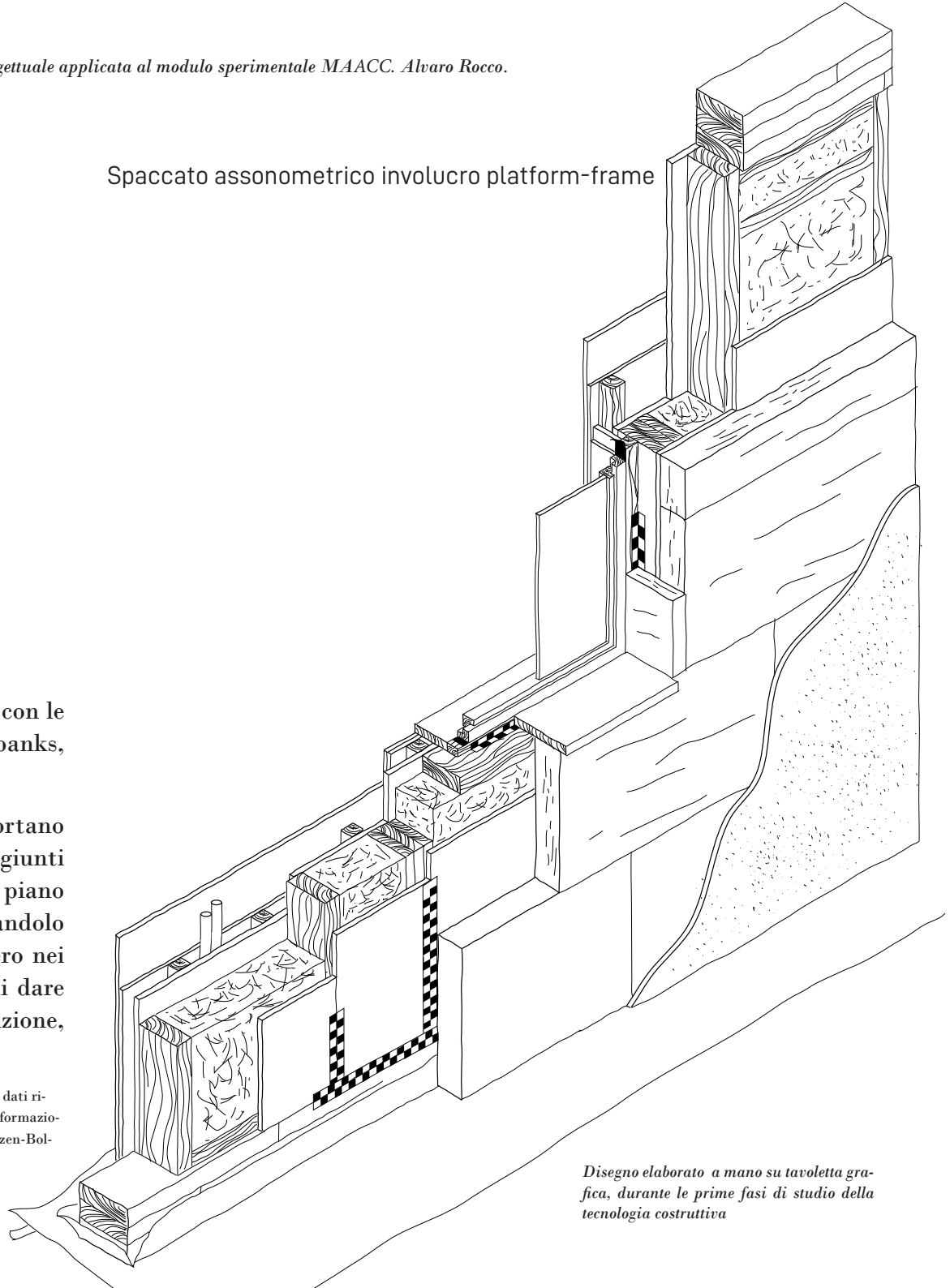
La rappresentazione grafica dell'abaco delle aperture vuole mostrare alcuni esempi delle possibilità compositive che il sistema permette. I disegni *abaco 1, abaco 2 e abaco 3* sono composti da linee verticali ogni 62,5 cm che definiscono la modularità del telaio e la disposizione del pannello su di esso, le linee orizzontali- ogni 50 cm negli abachi 1 e 2, e ogni 62,5 cm nell'abaco 3 - rappresentano la disposizione in altezza dei pannelli modulari. Il pannello di tamponamento viene rappresentato con linee più spesse rispetto e la bucatura sull'involucro che è rappresentata tramite un retino di linee a 45 °.

L'ispirazione del progetto deriva dal metodo che Wachsmann adotta per la relazione tra struttura-funzione-forma di un progetto architettonico, ovvero l'adozione di una base modulare per la presentazione dei diversi componenti, proponendo una griglia a maglie quadrate sulla quale professionisti e committenti erano invitati a fermare le loro idee progettuali. Il tutto si manifestava in punti, linee, superfici e corpi dai quali o in relazione ai quali risultavano le dimensioni definitive dei prodotti[59].

[59] ANNA MARIA ZORGNO (a cura di), *Konrad Wachsmann, Costruzioni in legno tecnica e forma*, (titolo originale: *Holzhausbau*, Ernst Wasmuth Verlag, Judith Wachsmann 1930, traduzione dal tedesco di Marco Trisciuoglio), Edizioni Angelo Guerini e Associati, Milano 1992.

2.2 Il sistema intelaiato leggero[60]

Spaccato assonometrico involucro platform-frame



Disegno elaborato a mano su tavoletta grafica, durante le prime fasi di studio della tecnologia costruttiva

2.2.1 Dal Balloon-frame al Platform-frame

La più antica testimonianza di fabbricazione in legno eseguita con le tradizionali tecnologie europee è resa dalla casa di Jonathan Fairbanks, a Dedham, nel Massachussets, datato 1636.

La tecnologia e il sistema costruttivo di questa struttura riportano fedelmente le tipiche nozioni del sistema inglese, riconoscibile nei giunti di controventamento e nelle travi a mensola per la costruzione del piano superiore. I costruttori cercarono di semplificare il lavoro, basandolo sulla preparazione dei materiali in segheria prima che giungessero nei luoghi di cantiere. Il primo incentivo tecnologico che permise di dare un nuovo impulso all'edilizia locale, si ebbe nel 1700 con l'invenzione,

[60] Le informazioni riportate in questo capitolo sono frutto dell'esperienza di tirocinio e della rielaborazione dei dati riportati sui testi: ALMERICO RIBERA, *Legno: L'universo costruttivo di un materiale nuovo*, I vol., Ribera legnoformazione, Milano 2015. CRISTINA BENEDETTI, *Costruire in legno: edifici a basso consumo energetico*, 2ª edizione, Bozen-Bolzano University Press, Bolzano 2014.

in Nord America, della prima macchina per la realizzazione in serie di chiodi di ferro. La seconda e più importante, svolta tecnologica, si ebbe nel 1800, quando lungo i fiumi dell'Est del Nord America sorsero le prime segherie meccanizzate per il legno, capaci di realizzare tavole e squadrati in grandi quantità, sfruttando le vie dell'acqua per il trasporto dei tronchi pesanti. I sistemi costruttivi europei ad intelaiatura con trochi squadrati e riempiti con pietre e mattoni, si rivelarono ben presto inadeguati alle condizioni climatiche del Nord America. L'utilizzo di tronchi di grosse dimensioni e dei loro riempimenti venne rapidamente sostituito da un'intelaiatura leggera, tamponata all'esterno con assiti inchiodati ai montanti posti ad embrice, oppure disposti in diagonale, e esternamente rivestita da un assito più leggero e con caratteristiche differenti. Venne abbandonata anche la muratura intermedia per la formazione della camera d'aria. Un'evoluzione di questo sistema fu la costruzione di case che utilizzassero montanti, travi e tavole, composto come un insieme costruttivo solidale, ottenuto diminuendo le dimensioni della struttura portante e facendo collaborare le tavole di rivestimento alla stabilità dell'edificio. L'ultimo passo fu la sostituzione delle tavole con pannelli compensato o truciolari e l'inserimento tra un montante e l'altro di materiale isolante.

Il nome "ballon frame" che letteralmente significa "pallone volante sotto i colpi mortali del vento" fu dato dai carpentieri di vecchia generazione, abituati alla lavorazione dei tronchi in legno con l'ascia, per la creazione delle giunzioni maschio e femmina sul tronco. Nel 1826 il calo dei prezzi dei chiodi, dovuto all'aumento della produzione di questi da parte delle fabbriche, comportò un più diffuso utilizzo di suddetto sistema costruttivo. Le aperture delle abitazioni rimasero di piccole dimensioni, distanziate e tra un montante e l'altro – per non diminuire la resistenza complessiva del fabbricato. Il riscaldamento invernale era affidato ad un grande camino in pieta al centro della casa, con un ancoraggio di un certo peso per sostenere sia la struttura che le scale. In condizioni estive le scelte migliori portarono alla costruzione di portici e loggiati intorno all'abitazione e prevalentemente posizionate sul lato sud dell'abitazione. Bisogna aspettare il 1812 per il primo pannello di compensato; quando le prime rudimentali sfogliatrici del tronco, permisero di generare il materiale necessario per produrre il compensato fenolico a strati incrociati. A metà dell'800 l'avvento di questo nuovo materiale, che velocizzava i tempi di cantiere, permise ai lavoratori di buona volontà di sostituire il carpentiere, nella costruzione autonoma delle case.

Il *balloon frame* è quindi quel sistema costruttivo, che consiste nell'impiego di montanti in legno (pilastri) aventi altezza di due piani, senza interruzioni; partendo dalla base fino ad arrivare alla trave di gronda dove poggiano i puntoni della copertura.

Il *platform frame* è invece il sistema costruttivo che prevede l'utilizzo di montanti (pilastri) che si interrompono ad ogni soletta, che costituirà la nuova base di appoggio per la costruzione del piano successivo.

Il Platform frame oggi

Il Platform frame oggi è il sistema più diffuso e utilizzato, poiché il solaio del piano primo svolge il ruolo di piattaforma per la costruzione del secondo e così via, questo incrementa il tasso di sicurezza in cantiere nelle costruzioni a telaio. Le pareti in questo sistema possono essere costruite direttamente in cantiere o in fabbrica per poi essere trasportate e assemblate in cantiere.

La scatola strutturale si basa quindi su pareti solai e rispettivi montanti e travi che scaricano il carico verticale e quello orizzontale alle fondazioni. Le dimensioni (sezioni) e la distanza dei montati seguono le direttive del progetto strutturale, la controventatura di essi avviene per mezzo di pannelli di compensato fenolico o con pannelli di OSB di spessore adeguato, fissati con viti. La stabilizzazione della struttura in legno è di

fondamentale importanza perché influisce nella caratterizzazione formale del fabbricato. Una struttura di legno senza un adeguato progetto strutturale è soggetta a deformazioni inaccettabili se sottoposta a carichi trasversali anche di modesta entità, quindi è fondamentale adottare dei metodi per controventare la struttura. Generalmente, la funzione di stabilizzazione viene affidata ai pannelli OSB opportunamente avvitati al montante e alle connessioni metalliche impiegate per comporre i telai. Quindi l'aspetto strutturale che contraddistingue le costruzioni a ossatura portante rispetto quelle a telaio sta nella collaborazione del tamponamento (pannelli OSB o compensati) che genera quindi un elemento così detto a "lastra". La stabilizzazione di ogni struttura in legno è differente dalla controventatura; nel primo caso si indicano quelle azioni progettuali mirate a stabilizzare i singoli elementi strutturali che possono essere soggetti a fenomeni di instabilità dovuta ad azioni fittizie interne alla struttura; instabilità flesso torsionale o instabilità di tipo

Pareti prefabricate durante le fasi di ancoraggio alla fondazione, caso studio, Baldissero Torinese

euleriano. Nel secondo caso la controventatura indica il sistema con il quale la struttura reagisce all'azione di forze esterne orizzontali, che devono essere trasmesse alle fondazioni o ad altre parti dell'edificio; le azioni orizzontali principali sono il vento (pressione/depressione sulle facciate), il sisma e gli urti.

La copertura del Platform-frame è costituita da capriate leggere di legno, posate in corrispondenza dei montanti, oppure da un reticolo di falsi puntoni poggiati sulla trave finale della parete e sulla trave di colmo della copertura. La dimensione degli elementi che compongono la copertura è definita dallo strutturista che valuterà le dimensioni, la forma del fabbricato e il luogo per poter definire il carico della neve.

Le giunzioni dei pannelli ai montanti si realizzano mediante avvitatura, la distanza tra un montante e l'altro di 62,5 cm è definita dalla larghezza dei pannelli di rivestimento – generalmente 125 cm per i pannelli OSB – e dagli elementi di isolamento da inserire all'interno della parete tra ogni montante, che hanno una larghezza di 60 cm. Porte e finestre possono essere inserite in qualsiasi posizione, anche non allineata al reticolo, a patto di predisporre dei montanti di maggiori dimensioni ai lati di ogni apertura, per sopportare il peso che avrebbero dovuto sostenere i montanti tagliati per generare l'apertura all'interno della parete.

Le norme richiedono che gli edifici multipiano debbano essere a pianta compatta, simmetrici nelle due direzioni principali e debbano possedere requisiti di regolarità. L'interasse massimo fra pareti portanti non deve superare gli otto metri, questa regola è valida per ogni struttura in legno. Le connessioni metalliche per l'assemblaggio della struttura devono impedire lo scorrimento e il ribaltamento dei piani.

2.2.2 Le strutture principali e le connessioni

Le fondazioni

Le fondazioni sono la parte più delicata della costruzione in legno, hanno il compito di isolare correttamente le pareti dall'umidità che risale dal suolo, dalla pioggia battente, dalla pioggia di rimbalzo e dal gas radon. È quindi indispensabile l'uso del vespaio areato o ventilato, che consente di interporre una camera d'aria al di sotto del solaio del piano terra. La soluzione necessita accorgimenti nella fase di progettazione e posa in opera, per evitare che nel tempo si producano difetti indesiderati, invalidanti la funzione tecnica del vespaio. La soluzione tecnologica in questione assolve funzioni strutturali ed è parte integrante del corpo di fabbrica; consente buoni livelli di trasmittanza termica, limita i fenomeni di condensa interstiziale, risalita di umidità dal sottosuolo, accumulo di calore e risalita di gas radon che possono diffondersi in tutta la struttura.

Il vespaio areato è composto da moduli quadrati prefabbricati di plastica tipo "igloo", il getto di calcestruzzo armato con rete elettrosaldata, uno strato di caldana cementizia, guaina, isolante termico di idoneo spessore, barriera al vapore e radon, massetto e pavimentazione. La posa dell'isolante e lo spessore vanno di pari passo con le prestazioni energetiche che si vogliono raggiungere, diventa obbligatorio se si prevede l'installazione di un sistema radiante di riscaldamento a pavimento per garantire un flusso di calore unidirezionale. La predisposizione di condotti di plastica affogati nei setti murari di fondazione interni e perimetrali, permette il ricircolo dell'aria; le aperture vengono distanziate di circa 60 – 80 cm dal pavimento esterno. Il livello di ventilazione del vespaio deve essere garantito dalle bocchette di prese d'aria, quest'ultime dipendono dall'area della fondazione. Il ricircolo avviene per effetto

Predisposizione impiati di scarico all'interno della platea di fondazione, caso studio, Baldissero Torinese, fotografia di Alessandro Santi

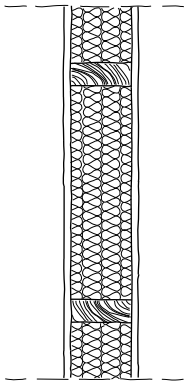
camino, è perciò necessario garantire una sezione adeguata delle bocchette per assicurare il tiraggio. Il fenomeno di condensa interstiziale è la prima conseguenza di una scarsa ventilazione: il raffreddamento della stratigrafia porterebbe alla condensazione dell'aria umida presente all'interno degli igloo. Le bocchette d'aria vengono predisposte lungo il perimetro ma solo sui lati Sud (in basso) e sul lato Nord (in alto). Alcuni accorgimenti possono migliorare la durabilità della fondazione; su tutto il perimetro della casa, a circa due metri dalla piattaforma, sarebbe opportuno praticare uno scavo di 50 cm di larghezza e 2 metri di profondità, per poi riempirlo di ghiaia o sassi, sulla platea di base è indispensabile che il muretto di cemento armato per l'appoggio della parete in legno sia perfettamente livellato, il perimetro esterno della fondazione dovrebbe essere isolato termicamente tramite un pannello in polistirolo resistente all'umidità spesso 10 cm, tale isolante deve essere protetto tramite un telo, per evitare che l'elemento in polistirolo si buchi sotto il carico della terra di riporto. L'assenza in Italia di norme tecniche direttive sulle fondazioni per costruzioni in legno ha portato i progettisti ad assumere le norme nazionali tedesche DIN.

Platea di fondazione con cordolo alto 25 cm, caso studio, Baldissero Torinese [ph. VASS Technologies]

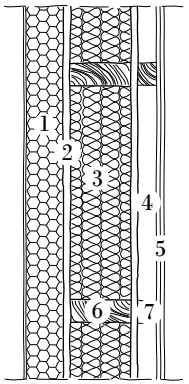
Le pareti

La parte strutturale della parete è composta da montanti in abete che hanno il compito di trasferire alle fondazioni il carico del solaio e dei piani sovrastanti; da traverse disposte rispettivamente alla base e in superficie all'elemento completo, che hanno la funzione di collegare i montanti per irrigidire la struttura; da pannelli di tamponamento in OSB che fungono da controventatura dall'elemento portante. La geometria della parete è definita da dimensioni e distanze regolari: la distanza tra un montante e l'altro è generalmente di 62,5 cm, salvo particolari condizioni geometriche o strutturali, tale distanza è definita dalla larghezza dei pannelli di rivestimento, generalmente 125 cm per i pannelli OSB, e dagli elementi di isolamento in fibra di legno da inserire all'interno della parete tra ogni montante, che hanno una larghezza di 60 cm.

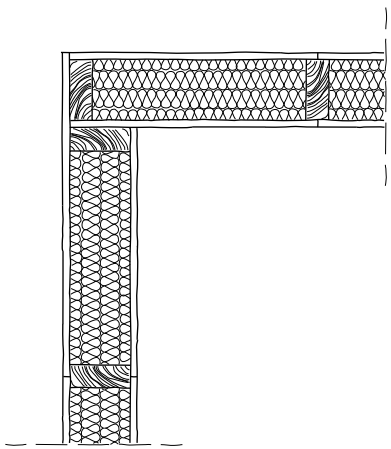
1 Cappotto in fibra di legno intonacato, s.100 mm
2 Pannello controvento OSB 3, s.18 mm
3 Isolante in fibra di legno, s.160 mm
4 Cavedio impianti, profondità 50/70 mm
5 Pannello in cartongesso, s 12/15 mm
6 Montante portante in abete, 60 x 160 mm
7 Montante per pannello in cartongesso 50 x 50 mm



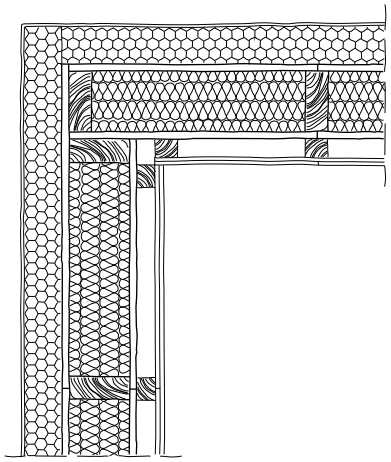
Disegno a mano delle sezioni orizzontali della parete platform-frame durante lo studio degli accoppiamenti



Sezione orizzontale parete platform-frame completa di cappotto e cartongesso

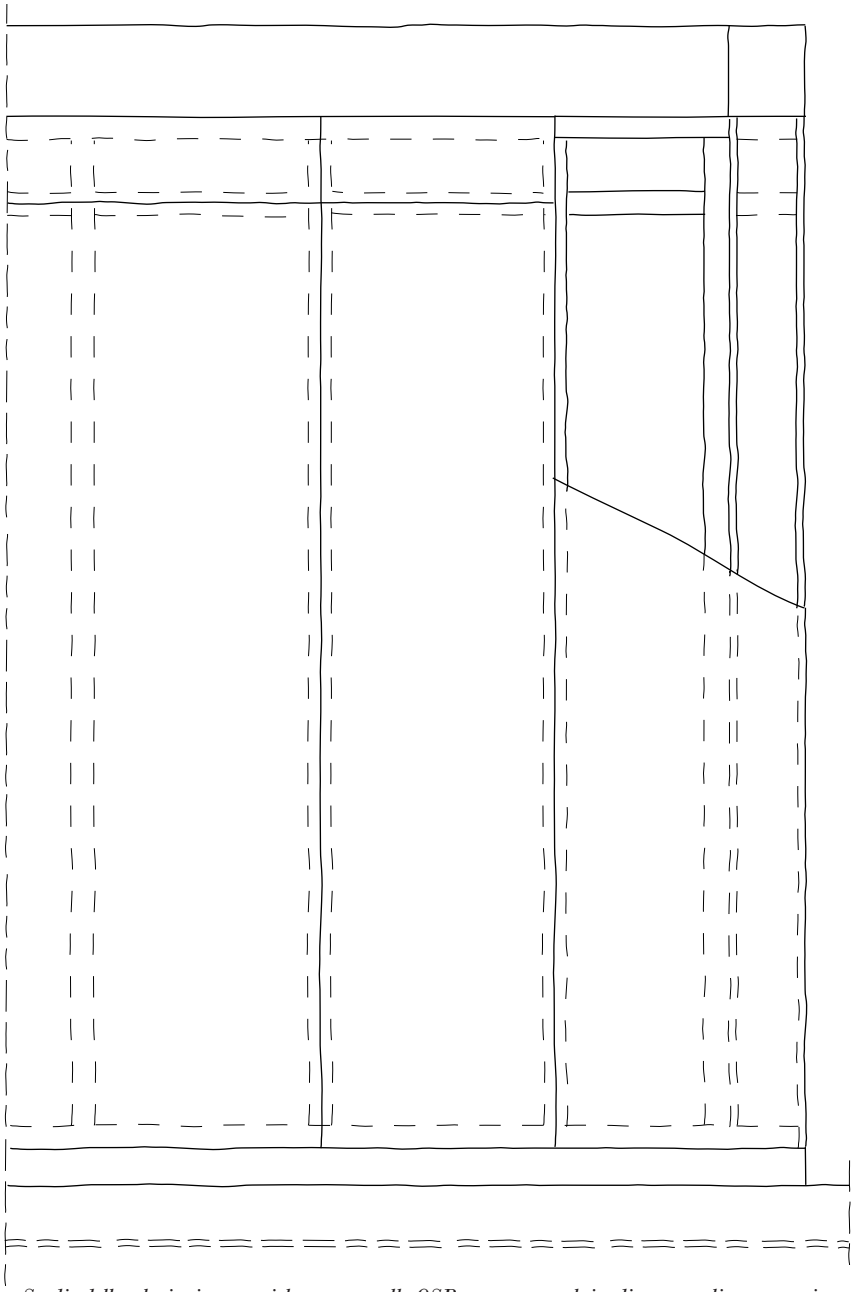


Sezione orizzontale angolo platform-frame



Sezione orizzontale angolo platform-frame completa di cappotto e cartongesso

Telaio in legno della parete prefabbricata senza fibra di legno e tamponamento in OSB, caso studio, Baldissero Torinese, foto scattata durante le visite in cantiere.



Studio delle relazioni geometriche tra pannello OSB e montante telaio, disegno realizzato tramite tavoletta grafica durante le visite in cantiere.

Ogni elemento viene avvitato tramite delle apposite viti munite di filettatura in punta, che ha il compito di generare il foro per l'alloggiamento della vite stessa, evitando fessurazioni che potrebbero compromettere la resistenza e la tenuta all'aria degli elementi. Le porte e le finestre possono essere inserite in qualsiasi posizione, anche non allineata al reticolo, a patto di predisporre dei montanti di maggiori dimensioni ai lati di ogni apertura per garantire una continuità strutturale adeguata. Le parteti vengono trasportate in cantiere prive di cappotto e finiture interne, poiché successivamente installate in cantiere.

Le aperture

Porte e finestre possono essere inserite in qualsiasi posizione, anche non allineata al reticolo strutturale generato dai montanti. In base alla dimensione delle aperture sarà poi necessario valutare un ulteriore dimensionamento dei montanti ai lati di ogni apertura, che dovranno quinndi sopportare il peso dei montanti tagliati per generare l'apertura all'interno della parete. La flessibilità compositiva è un vantaggio per le esigenze della committenza, però genera un quantitativo maggiore di componenti con dimensioni "speciali" che dovranno essere tagliati preventivamente.

La dimensione e la posizione dell'apertura influirà trasversalmente su altri fattori legati all'almbito produttivo della parete, ad esempio si dovranno tagliare pannelli OSB, montanti e traverse atte sostenere la geometria dell'apertura, si dovrà poi prevedere l'inserimento di isolante tr un montante e l'altro tramite insufflaggio del materiale o la compressione dell'elemento isolante normalmente utilizzato, qualora la dimensione lo permeta.

Ogni serramento è dotato di componenti essenziali per svolgere al meglio le sue funzioni; la parte opaca che è composta da telaio fisso e telaio mobile e la parte trasparente composta da vetro a doppia o tripla camera a seconda delle prestazioni termiche e acustiche richieste. Questi avranno caratteristiche estetiche in linea con la progettazione generale dell'edificio in questione e dovranno garantire determinate prestazioni fisiche; resistere al passaggio del calore tra ambiente esterno e interno, impedire la trasmissione del rumore e il passaggio d'aria a serramento chiuso.

Determinate funzioni sono intrinseche nel prodotto e dovranno essere mantenute tali anche dopo la fase di montaggio sulla parete. Per far ciò sarà quindi necissario predisporre:

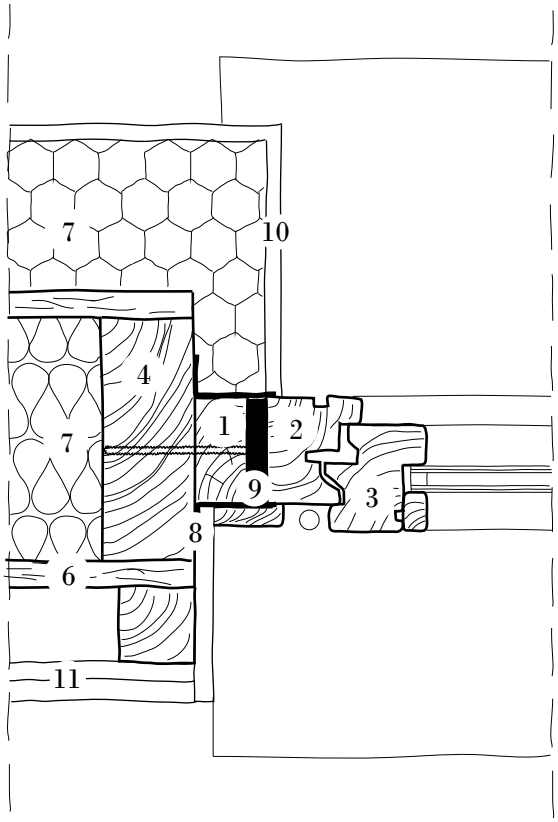
- Nastri tra gli elementi della parete (montanti, traverse, controtelaio) e il serramento stesso per impedire il passaggio dell'aria.

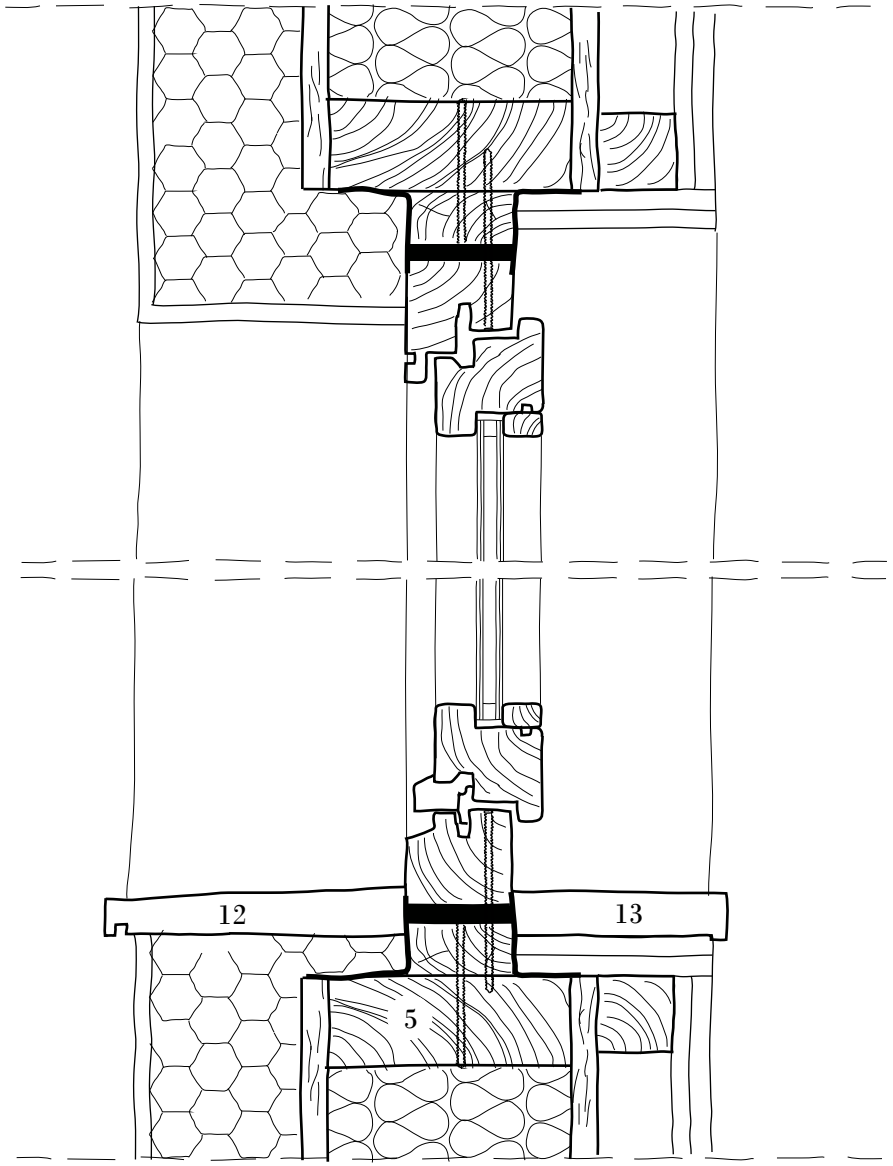
- Guarnizioni comprimibili tra telaio fisso e controtelaio che durante le fasi di fissaggio mediante avvitatura si comprimono aderendo perfettamente agli elementi connessi e garantiscono la tenuta all'aria.

- Il risvolto dell'isolante della parete a contatto con il telaio fisso del serramento per garantire la continuità termica.

Al fine di verificare se la fase di montaggio dei serramenti è stata eseguita corretamente sarà necessario effettuare dei test, verificando il passaggio di calore tramite la telecamera ad immagine termica, e misurando il passaggio d'aria tramite il Blower-Door-Test.

Sezione orizzontale e verticale inffisso in legno - scala 1.5

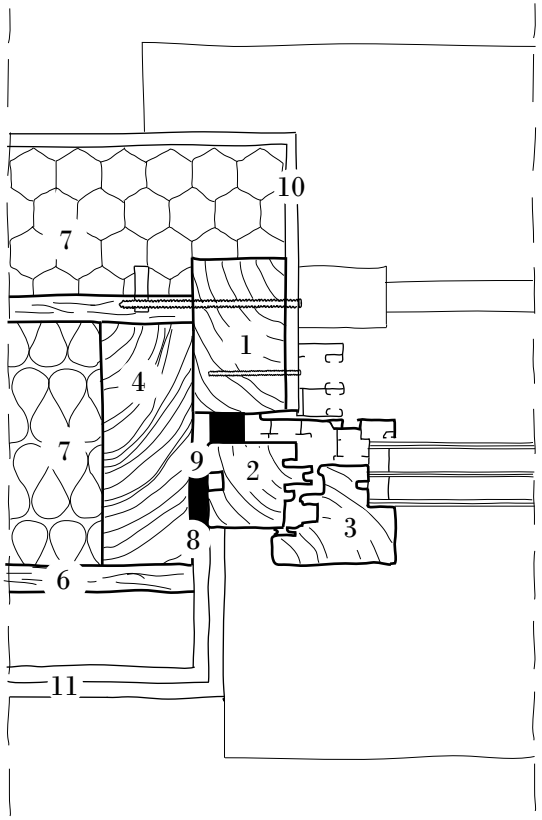


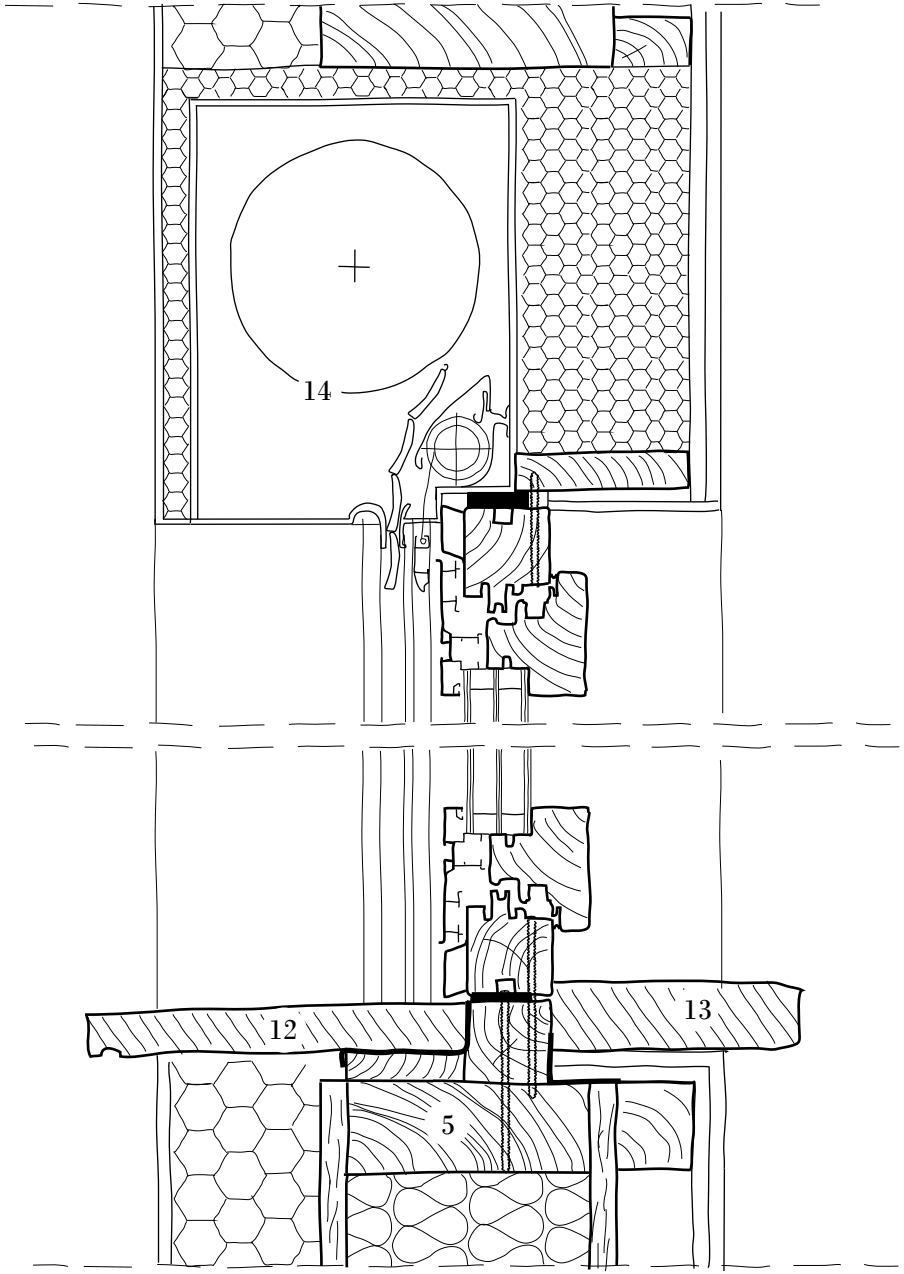


1 - Controtelaio
2 - Telaio fisso
3 - Telaio mobile
4 - Montante parete
5 - Traversa parete
6 - Pannello in OSB
7 - Isolante in fibra di legno
8 - Nastro di tenuta all'aria
9 - Guarnizione sigillante
10 - Intonaco
11 - Doppia lastra in cartongesso
12 - Davanzale esterno
13 - Davanzale interno

Studio tramite sezioni verticali e orizzontali della relazione tra serramento e parete prefabbricata platform-frame; disegno a mano su tavoletta grafica.

Sezione orizzontale e verticale inffisso in legno-alluminio - scala 1.5





1 - Controtelaio
2 - Telaio fisso
3 - Telaio mobile
4 - Montante parete
5 - Traversa parete
6 - Pannello in OSB
7 - Isolante in fibra di legno
8 - Nastro di tenuta all'aria
9 - Guarnizione sigillante
10 - Intonaco
11 - Doppia lastra in cartongesso
12 - Davanzale esterno
13 - Davanzale interno
14 - Cassonetto per avvolgibile

Il solaio

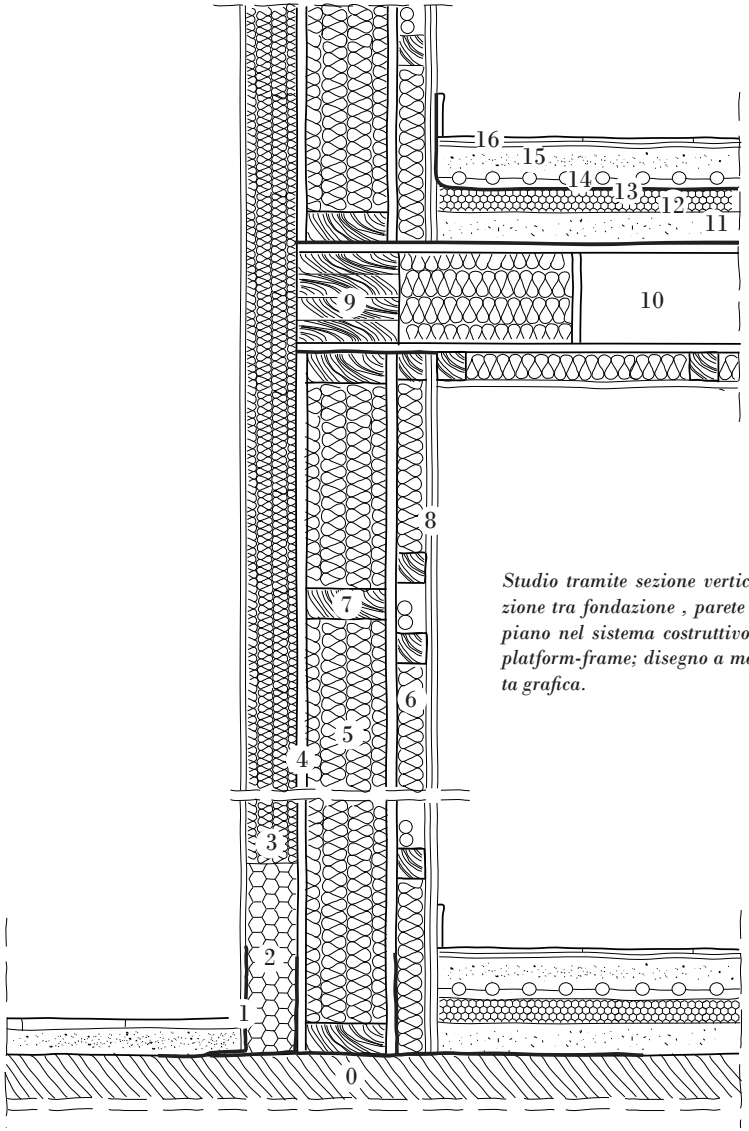
Il solaio è la struttura piana orizzontale che costituisce la copertura e il sostegno dei piani intermedi degli edifici.

Ogni solaio in legno, con struttura portante a telaio, è progettato secondo alcune dimensioni fondamentali; la luce minore, ossia la distanza minima tra due appoggi consecutivi; la campata, ovvero la distanza tra i due appoggi del solaio; l'orditura, cioè la struttura di un solaio.

Le orditure di un solaio si dividono in principali, secondarie e terziarie. Tale divisione dipende dallo sforzo e dalla dimensione della sezione degli elementi. Queste hanno funzione di ripartire e sostenere il carico in condizioni differenti. I solai in legno hanno spessori considerevoli, soprattutto se bisogna sostenere il peso in locali molto ampi. Ciò che influisce sullo spessore e sulla rigidezza del solaio è il massetto alleggerito sopra il tavolato (ultima orditura), che conferisce rigidità, favorisce la ripar-

0 - Fondazione in CLS
1 - Guaina impermeabile
2 - Isolante in EPS 100 mm
3 - Cappotto in fibra di legno intonacato, s.100 mm
4 - Pannello controvento OSB 3, s.18 mm
5 - Isolante in fibra di legno, s.160 mm
6 - Cavedio impianti, profondità 50/70 mm
7 - Traversa telaio strutturale in abete, 60 x 160 mm
8 - Doppio pannello in cartongesso, s 12/15 mm
9 - Trave lamellare di bordo, 200 x 200 mm
10 - Trave lamellare per l'orditura principale del solaio, 160 x 200 mm
11 - Massetto collaborante in cemento, s 60 mm
12 - Guaina anticalpestio
13 - Impianto di riscaldamento a pavimento
14 - Massetto alleggerito
16 - Pavimentazione

Sezione verticale - incrocio tra partizione esterna e solaio



Studio tramite sezione verticale della relazione tra fondazione , parete e solaio interpiano nel sistema costruttivo prefabbricata platform-frame; disegno a mano su tavoletta grafica.

Disposizione dell'orditura principale del solaio (travi lamellari), dettaglio della trave IPE necessaria al sostegno delle travi lamellari a causa della "luce" elevata, scatto durante le visite al cantiere del caso studio.

tizione dei carichi. La resistenza del solaio in legno è maggiore di altri, soprattutto in caso di incendio. Infatti, il processo di carbonizzazione dello strato esterno, protegge il nucleo interno della trave, mantenendo l'efficienza per il tempo necessario all'evacuazione dell'edificio o meglio allo spegnimento delle fiamme. I solai prefabbricati, per ragione di trasporti devono essere disposti in modo da avere dimensioni trasversali limitate, anche per permettere una facile manovrabilità durante la fase di montaggio. In edifici intelaiati, il controventamento è garantito da pannelli strutturali avvitati ai bordi e fissati agli elementi della struttura a telaio in modo sfasato. Una stratigrafia di solaio per gli edifici intelaiati è costituita da; struttura portante (a vista o nascosta da controsoffitto); perline; pannello OSB; telo di protezione; massetto alleggerito per il passaggio degli impianti; guaina anti calpestio; isolamento per riscaldamento a pavimento; massetto; colla e pavimentazione.

La copertura

L'edificio a struttura portante in legno è eseguito grazie all'unione di parete solai e copertura, al fine di realizzare una sorta di scatola chiusa compatta. Le componenti del tetto hanno la funzione di creare una struttura tale da permettere di trasmettere i carichi verticali alle pareti del perimetro. Il tetto è composto da una serie di travi portanti che supportano tutti gli elementi sovrastanti, tra cui altre orditure per la ripartizione dei carichi e il fissaggio delle parti che compongono la stratigrafia della copertura. L'orditura che compone il tetto è costituita dai seguenti elementi; la trave di colmo, che è posta in sommità alla copertura e ha il compito di sostenere i puntoni; i falsi puntoni – o puntoni –, che ripartiscono i carichi dell'orditura sovrastante al cordolo e alla trave di colmo; i cantonali, che svolgono la stessa funzione dei puntoni, ma vengono posti in corrispondenza del displuvio del tetto; i travicelli – o correntini –, sono elementi di sezione inferiore ai puntoni e vengono disposti in maniera perpendicolare ai puntoni e parallela al profilo dell'edificio; i travetti – o correntini –, disposti sopra le terziere, fungono da base di appoggio per le tegole; i listelli, hanno la funzione di fissare le componenti del manto di copertura; il tavolato, può essere impiegato come appoggio per alcuni tipi di tegole o materiale bituminoso, inoltre può essere predisposto come materiale di rifinitura interno; i passafuori sono elementi fissati ai falsi puntoni che hanno il compito di sostenere lo sporto della copertura, gerarchicamente sono allo stesso livello dei falsi puntoni; i dormienti, sono la base d'appoggio dei falsi puntoni; le controcatene, legano i falsi puntoni e sono disposti sotto la trave di colmo; i saettoni, invece, irrigidiscono le travi.

In edifici in legno è indispensabile l'adozione del cordolo per collegare la copertura alle pareti verticali, e garantire un'uniforme distribuzione dei carichi. Gli elementi saranno fissati tramite squadre per resistere agli sforzi di taglio e hold down per compensare le forze di trazione; la trasmissione del carico, invece, avviene per contatto diretto tra le superfici

Posizionamento travi di bordo copertura, foto ricavata dall'archivio di progetto dell'azienda VASS technologies.

che saranno opportunamente sagomate ad L a seconda dell'inclinazione della falda.

Le coperture possono svilupparsi geometricamente ad una o più falde inclinate, in base alle direttive tecniche della zona in questione, la progettazione delle falde mette in relazione diversi elementi: gli aspetti tecnologici, energetici, compositivi, estetici e strutturali.

Gli elementi di copertura aventi il compito di proteggere e rendere impermeabile quest'ultima, sono anche essi collocati in relazione all'inclinazione della falda e generalmente vengono utilizzate lastre di ardesia, pietre, scandole, coppi, tegole, lamiere coibentate etc. Le tegole sono fissate sui listelli che conferiscono lo spessore necessario alla creazione di una lama d'aria tra tavolato e manto di copertura, che aiuta a smaltire l'umidità e il calore in condizioni estive.

La ventilazione della copertura in legno svolge un ruolo fondamentale dal punto di vista termico in condizione estiva, aiutando a trasportare il calore verso l'alto con l'effetto camino. Lo strato termoisolante adiacente alla camera di ventilazione, ha invece il compito di limitare le dispersioni di calore in inverno, ma anche di respingere il caldo prodotto dall'incidenza dei raggi solari nelle stagioni più calde. La camera di ventilazione si costruisce predisponendo un telo impermeabile e traspirante sopra l'isolante a seguire dei listelli con dimensioni pari al progetto della camera di ventilazione, al di sopra di essi si fissa un tavolato che diventerà la base d'appoggio per il manto di copertura.

La progettazione delle coperture si divide in due sistemi costruttivi che adottano o meno la ventilazione tra gli strati del pacchetto di copertura. Il *tetto caldo,* diffuso maggiormente nell'edilizia industriale, non prevede l'utilizzo di un'intercapedine aperta per la ventilazione, soprattutto nei casi in cui la falda presenta un'inclinazione minima; in questi casi viene utilizzata una barriera al vapore al posto di un freno a vapore, ma è richiesto un grado di funzionalità da parte dell'isolante anche con un tasso di umidità elevato. È preferibile, quindi, l'utilizzo di isolanti come la fibra di vetro o, ancora meglio, il sughero che è biodegradabile e resistente all'acqua e all'umidità. Il *tetto freddo,* più comunemente chiamato *tetto ventilato,* viene utilizzato maggiormente nei sistemi costruttivi in legno. La grande differenza tra tetto caldo e tetto freddo sta nella compattezza della stratigrafia, nel primo gli strati sono adiacenti gli uni agli altri, nel secondo viene interposta una camera di ventilazione alla fine dello strato isolante, sotto il manto di copertura, per favorire lo smaltimento del calore e dell'umidità. Nel tetto freddo viene utilizzata la *barriera freno a vapore,* che permette una traspirazione maggiore della copertura e il passaggio del vapore tra i vari strati. Lo smaltimento dell'umidità deve essere gestito dalla ventilazione della camera d'aria aperta, tramite l'effetto camino o la ventilazione esterna. Partendo dall'alto e dunque dal manto di copertura, una corretta stra-

Protezione struttura del tetto dalle possibili intemperie tramite telo impermeabile, scatto effettuato durante la visita formativa del cantiere oggetto di studio per la tesi.

tigrafia del tetto freddo dovrebbe essere la seguente; manto in coppi; listelli e contro listelli, per formare uno strato di ventilazione di circa 5 cm; telo traspirante e impermeabile; strato isolante in fibra di legno 8 cm; telo freno a vapore; tavolato; puntoni.

I vantaggi della ventilazione si verificano in estate dal punto di vista energetico e in autunno e inverno dal punto di vista manutentivo; il passaggio d'aria, infatti, permette di eliminare i ristagni d'acqua sul manto di copertura dovuti alle forti piogge o al lento scioglimento della neve.

Ogni copertura deve rispettare dei requisiti codificati dalla norma UNI 8290. Il professore Gianni Zannoni dell'università IUAV di Venezia ne semplifica i requisiti così: requisiti di *sicurezza;* resistenza meccanica ai carichi statici e dinamici, stabilità dimensionale, resistenza agli urti, resistenza al fuoco, sicurezza alle esplosioni, sicurezza a fenomeni elettromagnetici, resistenza alle deformazioni, resistenza a shock termico, resistenza al gelo, resistenza agli agenti chimici, biologici, radioattivi. *Fruibilità;* facilità di manovra di parti mobili, flessibilità. *Benessere;* ventilazione, isolamento acustico, isolamento termico, inerzia termica, tenuta all'aria e all'acqua, controllo della condensa interstiziale e superficiale, resistenza alla formazione delle muffe, illuminazione. *Aspetto;* compatibilità ambientale, regolarità geometrica, finiture. *Gestione*; contenimento dei consumi energetici e facilità d'accesso.

Vista dall'interno dei falsi puntoni in legno lamellare coperti con il telo, caso studio, baldissero Torinese, foto scattata durante la visita in cantiere.

Sistemi di connessioni e viti

Le connessioni tra gli elementi di una costruzione in legno avvengono in senso verticale, orizzontale e infine in fondazione mediante elementi metallici che impediscono scorrimento e ribaltamento. Le connessioni sono di tipo; parete-parete, parete fondazione, parete-solaio-parete, solaio-solaio.

La capacità dissipativa delle connessioni in seguito a numerosi cicli di carico è funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali e della loro configurazione geometrica. Il comportamento dissipativo di una giunzione è dovuto a due fenomeni, il rifollamento del legno e la plasticizzazione dei connettori metallici. La resistenza al rifollamento è un fenomeno di plasticizzazione della vite che, giunta allo sforzo limite cede determinando il rifollamento della trave intorno al foro di alloggiamento. Tale resistenza varia sensibilmente a seconda della specie legnosa dell'elemento strutturale e da vite a vite. La progettazioni delle connessioni atte al trasferimento delle forze alla struttura sottostante in cemento armato e all'unione degli elementi lignei va di pari passo con un adeguata progettazione antisismica. Il risultato finale indipendentemente dalle scelte progettuali deve assicurare deformazioni anelastiche che contrastino le forze del vento e del sisma. La continuità strutturale viene garantita da sistemi di ancoraggio anti ribaltamento, anti scorrimento e unioni parete solaio. L'elemento che evita il ribaltamento è soggetto ad uno sforzo di trazione tra parete-solaio o parete fondazione; l'elemento che evita lo scorrimento è soggetto ad uno sforzo di taglio ed evita lo scorrimento della parete, si inserisce tra parete-solaio o parete-platea di fondazione; i collegamenti tra parete-parete e parete-solaio garantiscono un comportamento scatolare della struttura.

Gli elementi principali adoperati per sopperire a queste necessità strutturali sono: l'hold down e le staffe metalliche. Il primo è un sistema di ancoraggio per sopportare forze di trazione agenti nella direzione del suo stesso asse, le forze sollecitano tutta la parete per tutta la lunghezza del lato inferiore, ma si considera che agiscano in prima istanza proprio alle due estremità (negli angoli). L'elemento in questione viene fissato negli angoli a fianco dei punti più deboli, in corrispondenza delle aperture, create per installare porte e finestre. In questi punti è quindi facile fissare ancoraggi puntuali e calcolabili. Gli elementi possono essere singoli o accoppiati, oppure contrapposti ma in questo caso una barra filettata li unirà attraversando il solaio. Questo sistema risulta essere molto efficace per edifici di modeste dimensioni che non sollecitano enormemente le giunzioni. Le staffe metalliche hanno il compito di contrastare le spinte orizzontali prevenendo lo scorrimento della struttura, sono distribuite regolarmente lungo tutta la parte inferiore della parete e differentemente dall'hold down che si avvita sul montante, le staffe si avvitano alla traversa di base della parete a telaio. Il comportamento di tali elementi strutturali è duttile e possono essere fissati su pareti a telaio o portanti.

Staffe metalliche per l'unione della parete prefabbricata al cordolo in C.A, scatto fotografico al cantiere oggetto di studio.

Gran parte degli elementi in legno e metallici sono fissati tra di loro tramite viti appositamente progettate. In passato venivano utilizzate viti a sezione conica che durante l'avvitamento formavano una sorta di cono nel legno per aumentare l'incastro ma aveva scarsa resistenza all'estrazione. Furono introdotte viti a corpo cilindrico ma la loro forma creava tensioni all'interno della struttura del legno e quindi fessurazioni. Le viti usate oggi nelle opere in legno sono appositamente studiate per sopperire alle necessità di cantiere e per garantire le prestazioni richieste dal progetto; sulla punta della vite è stata inserita una mini fresa che, durante la rotazione imposta dall'avvitatore, pratica un foro considerato come invito alla penetrazione della filettatura in grado di evitare le tensioni della tavola, sulla testa della vite è inserito un estrattore meccanico per espellere il truciolo prodotto dalla fresa di punta. Per ogni destinazione d'uso vengono prodotte viti adatte all'impiego che devono avere un grado di duttilità idoneo.

2.2.3 Il trasporto delle pareti prefabbricate

Il trasporto è il trasferimento degli elementi prefabbricati che compongono la casa verso il cantiere, è la fase successiva alla produzione e precedente al montaggio degli elementi ma è attentamente progettata e studiata preventivamente in quanto condiziona alcuni aspetti realizzativi dell'opera. Gli elementi di notevole lunghezza, che vengono trasportati necessitano di mezzi adeguati, la fase conoscitiva riguardante l'accessibilità dei mezzi di trasporto sino al cantiere è fondamentale per la scelta delle dimensioni e della tipologia del mezzo. I mezzi di largo impiego necessitano di spazi di manovra e raggi di curvatura minimi non sempre riscontrabili, soprattutto nelle zone di montagna. Lo studio del sito è fondamentale quindi per progettare adeguatamente le dimensioni degli elementi prefabbricati che verranno giuntati successivamente in cantiere. In condizioni critiche e che rendono impossibile l'arrivo di mezzi su ruota al cantiere è possibile trasportare le pareti tramite elicottero che però influisce negativamente sui costi generali per la realizzazione dell'opera. Il successivo trasporto degli elementi dal camion all'area di progetto è eseguito tramite autogru con addetti specializzati che posizioneranno precisamente il prefabbricato, situazioni critiche in questo caso porteranno all'utilizzo di gru fisse che permetteranno una manovrabilità più flessibile capace di gestire carichi più pesanti ma aumenteranno i costi.

Le sollecitazioni dovute al trasporto

Durante la fase progettuale e produttiva bisogna tenere conto delle sollecitazioni a cui gli elementi costruttivi sono sottoposti in fase di trasporto e montaggio. Gli elementi per pareti, soffittature e coperture subiscono diverse sollecitazioni durante le operazioni di capovolgimento, sollevamento e trasporto. Ad esempio, le giunzioni degli elementi prodotti in orizzontale e messi in verticale con la gru durante le fasi di montaggio, vengono sollecitate trasversalmente. Inoltre gli ele-

menti progettati per resistere a sforzi di compressione durante le fasi di manovra subiscono sollecitazioni opposte ovvero di trazione. Esistono sistemi che permettono di prevenire danni alla struttura, come ad esempio l'utilizzo di elementi metallici o funi che trasferiscono gli sforzi di trazione alla base della parete trasformandoli così sforzi di compressione per l'elemento prefabbricato. Gli elementi costruttivi prefabbricati di ridotte dimensioni non influiscono significativamente sulla tenuta delle giunzioni e permettono di tralasciare l'inversione che avviene durante le fasi di trasporto con i metodi classici. Il flusso di forze tra il punto di ancoraggio e l'elemento prefabbricato attraversa di norma una pannellatura fissata alla traversa superiore, ai montanti e alla traversa inferiore. Gli elementi prefabbricati sottoposti a compressione durante il sollevamento devono essere dimensionati per resistere all'inflessione con un coefficiente di sicurezza 4.0. Negli elementi prefabbricati bisogna tenere presente che le aperture e le installazioni o gli indebolimenti strutturali pregiudicano il flusso delle forze anche durante le fasi di trasporto.

Le imbragature

Il peso degli elementi che influisce su tutta la fase di trasporto e sul sistema di imbragatura deve essere stabilito con l'ausilio di programmi specifici che individuano anche il punto esatto del baricentro della struttura da trasportare, dato necessario durante le fasi di manovra dell'elemento. Durante le fasi di montaggio l'utilizzo di accessori di imbracatura regolabili (bilancini, catene, bascule, ecc.) consente di correggere eventuali posizioni oblique. È quindi fondamentale una volta prestabilito il carico, il baricentro e la tenuta delle giunzioni utilizzare gli stessi sistemi di imbracatura. Questo permette di evitare situazioni di carico non definite per i dispositivi di ancoraggio. La scelta dei sistemi di imbracatura e sollevamento tiene conto dei seguenti aspetti; mezzi di sollevamento disponibili (gru a ponte, gru di cantiere, elicottero, ecc.) da adoperare durante le fasi di produzione, trasporto e montaggio; spa-

Fase di posizionamento delle pareti prefabbricate, cantiere caso studio, Baldissero Torinese, foto ricavata dall'archivio dell'azienda VASS Technologies.

zio disponibile (in verticale e orizzontale) durante la produzione, il trasporto e il montaggio; per ogni tipo di elemento (per pareti, soffittature e coperture) bisogna definire un sistema di imbracatura specifico in funzione della geometria e del peso del prefabbricato; distribuzione del carico e forze massime che possono agire sui singoli punti di ancoraggio con particolare attenzione ai sistemi non isostatici; utilizzo di una bascula per il bilanciamento del carico con più di 2 punti di ancoraggio per il sistema isostatico. È fondamentale inoltre disporre della documentazione inerente la capacità di carico del mezzo. Gli accessori di imbracatura si posizionano seguendo; il baricentro degli elementi, l'assetto durante le operazioni di montaggio (ad es. inclinazione degli elementi per coperture), rigidezza e resistenza degli elementi (ad es. a rottura, piegatura), le forze indotte nell'elemento dalla posizione dell'accessorio di sollevamento. Il dimensionamento degli elementi di imbragatura tiene conto

del peso proprio dell'elemento sulla gru e dell'accelerazione indotta dal mezzo di sollevamento (ad es. gru) è necessario quindi aumentare di un coefficiente dinamico la forza risultante dal peso proprio sulla base delle norme SIA 260-265.

I sistemi di sollevamento

Fasi progettuali e logistiche efficienti evitano tempi morti e azioni pericolose durante la produzione, il trasporto e il montaggio. Per una pianificazione ottimale della logistica servono buone conoscenze delle infrastrutture aziendali, di trasporto e di cantiere. È necessario definire i sistemi di imbragatura degli elementi per le operazioni di carico/scarico e per il trasporto, per farlo è necessario considerare la sequenza di montaggio nel cantiere, la sequenza di produzione può essere stabilita di conseguenza, come i sistemi di stoccaggio flessibili che semplificano la logistica di produzione e di trasporto degli elementi prefabbricati. Il sollevamento e il trasporto dei prefabbricati in legno è eseguito utilizzano gru industriali o gru a ponte e non è consentito l'utilizzo di carrelli elevatori senza speciali accessori di sollevamento. Esistono diversi sistemi per il sollevamento di pareti prefabbricate in legno.

I *bilancini* sono in metallo e dimensionati per un determinato carico, hanno due attacchi superiori e gli attacchi inferiori degli accessori di sollevamento sono regolabili in modo da bilanciare il carico.

I *bilancini ad H* dispongono di 4 punti di ancoraggio e sono adatti al sollevamento di elementi orizzontali/obliqui o moduli prefabbricati ad esempio solai o coperture che necessitano maggiori regolazioni durante le fasi di montaggio. Durante la fase di carico è fondamentale che il baricentro dell'elemento in legno sia sempre sulla verticale del gancio della gru, al fine di limitare sovraccarichi strutturali dell'elemento. L'utilizzo di bilancini a tiranti obliqui genera compressione sull'elemento trasportato, (ad esempio sulla traversa superiore di una parete prefabbricata).

I *Tiranti* sono in fibra sintetica (a nastro) o in acciaio (a catena o a fune) e presentano più bracci uscenti da un unico punto d'innesto. L'utilizzo dei tiranti comporta forti compressioni all'interno degli elementi in legno se si prevedono imbracature molto distanziate tra loro, ma non è comunque consentito un angolo superiore a 45° delle funi. Tali sollecitazioni devono essere considerate già in sede di progettazione con un adeguato dimensionamento del corrente superiore che sarà oggetto di prova di inflessione. Anche in questo caso il baricentro dell'elemento in legno verrà stabilizzato sempre sulla verticale del gancio della gru. Dispositivi di compensazione consentono di uniformare il carico complessivo sui 4 bracci, in condizioni in cui la distribuzione del carico non è uniforme bisogna considerare la portata massima consentita dei singoli bracci. Elementi prefabbricati asimmetrici comportano l'utilizzo di tiranti di lunghezza diversa.

Le *cinghie tessili* di sollevamento monouso e multiuso vengono fatte passare attorno o attraverso il prefabbricato. Le cinghie perfettamente integre per poter essere utilizzate vengono contraddistinte con un'etichetta arancione che riporta informazioni sul carico, dimensione e codici di tracciabilità. Considerare i fattori modali per determinare l'effettiva portata. Le cinghie vengono applicate in modo tale che il carico sia distribuito in maniera uniforme e non devono essere intrecciate, o fatte passare su spigoli vivi ma smussati o arrotondati. Le cinghie di sollevamento monouso vengono fatte passare attorno alla traversa superiore e posizionate nelle maglie strutturali corrispondenti.

Il *Giunto universale con vite per legno* è caratterizzato da una vite inserita all'interno dell'elemento in legno predisposta per essere agganciata al cavo d'acciaio. È necessario con questo sistema rispettare le dimensioni minime dell'elemento in legno, le distanze dai bordi della vite in senso orizzontale e verticale e non superare l'angolo di inclinazione massimo dei tiranti.

Il trasporto su ruota

Il metodo di ancoraggio per il trasporto, non ha delle particolari soluzioni standard, è molto diffuso il sistema di piattaforme di carico con montanti centrali. In questo sistema le pareti vengono trasportate prevalentemente in verticale, le coperture e soffittature in orizzontale. I fattori che determinano il tipo di trasporto sono la larghezza ammissibile del veicolo, l'altezza del veicolo e il peso totale dell'automezzo adibito al trasporto di merci. I dispositivi di ancoraggio per il trasporto vengono dimensionati n funzione del carico.

I *rimorchi* utilizzati per il trasporto degli elementi prefabbricati non dispongono di un proprio motore e possono essere utilizzati come sistema di stoccaggio. Gli elementi prefabbricati vengono trasportati a seconda della tipologia in verticale o in orizzontale. I sistemi a piattaforma possono essere a pianale uniforme e continuo o pianale ribassato che consente il trasporto di elementi prefabbricati alti fino a circa 3,4 m.

I *semirimorchi* sono rimorchi che scaricano una parte del carico sul veicolo trainante. Il vantaggio dei semirimorchi è l'elevato carico utile ammissibile che consente di trasportare prefabbricati pesanti.

Gli *autocarri* con cassoni scarrabili sono un'alternativa ai sistemi di rimorchio in quanto i prefabbricati in legno possono essere trasportati in verticale o in orizzontale e sono protetti dalle intemperie.

È necessario infine prevedere progettare le vie di circolazione nel cantiere prova di intemperie. Occorre prevedere un drenaggio e un deflusso mirato dell'acqua piovana a seconda della stagione, tenendo conto del ghiaccio e della neve. Lo stoccaggio dei prefabbricati deve essere effettuato depositando gli elementi su una superficie piana e portante. Gli elementi possono essere stoccati in orizzontale o in verticale, ed è preferibile disporli in verticale utilizzando incastellature di trasporto o strutture ad "A". Ogni elemento deve essere fissato separatamente e adeguatamente protetto dalle intemperie per gestire facilmente le successive fasi di carico per il montaggio in sito.

Fase di messa a piombo delle pareti prefabbricate, cantiere caso studio, Baldissero Torinese, foto ricavata dall'archivio dell'azienda VASS Technologies.

2.2.4 Gli elementi costruttivi principali

Gli elementi strutturali

Legno massiccio da costruzione con giunti a pettine (KVH) Il legno massiccio da costruzione giuntato è legname squadrato, essiccato artificialmente e successivamente piallato per perfezionare la squadratura; le giunzioni a pettine vengono effettuate longitudinalmente per ottenere elementi più lunghi. L'elemento in questione appartiene al taglio "cuore spaccato" o "fuori taglio" che garantisce maggiore stabilità dimensionale e minore probabilità di fessurazione. Il giunto è composto da una fresatura a pettine su entrambe le teste degli elementi da unire, la fresatura degli elementi in questione è generata tramite lo stesso profilo per permettere un incastro perfetto. Gli elementi fresati vengono uniti tramite incollaggio. Questi elementi prima di essere utilizzati per opere edilizie vengono sottoposti a controllo sia dal produttore che da un istituto esterno per garantirne la loro qualità. Le dimensioni di questi elementi sono disponibili fino ai 18 m con sezioni standard o preferenziali.

Travi Duo e Trio

Gli elementi Duo e Trio sono costituiti da due o tre elementi di legname squadrato incollatati sul lato; l'elemento singolo prima dell'unione è sottoposto a essiccatura artificiale e classificato in base alla resistenza. L'elemento singolo presenta giunzioni a pettine al suo interno. Anche in questo caso la trave piallata è sottoposta a controllo dal produttore e dall'ente accreditato. Le travi duo trio sono generalmente utilizzate per solai e elementi strutturali in genere ma non esposti ad agenti atmosferici.

Legno lamellare incollato

Il prodotto di legno è costituito da lamelle, in genere appartenenti ad una sola specie legnosa, vengono incollate parallelamente alla fibra. Il principale legno che viene utilizzato è quello di Conifera come l'abete rosso, abete bianco, pino e larice, ma si possono utilizzare anche legni di Latifoglie come faggio, frassino, quercia, robinia e castagno. Le caratteristiche fisico meccaniche dipendono dalla corretta realizzazione del giunto a pettine, dalla disposizione delle lamelle all'interno dell'elemento finito. Il tipo di legno lamellare può essere laminato in orizzontale o verticale, la norma di legge li distingue tra sezioni omogenee e combinate: nel primo, classe di resistenza e specie legnosa sono uguali, nel secondo sono differenti.

Elementi piani composti da fibre di legno

Il materiale con cui sono composti i pannelli si ottiene dalla riduzione del legno grezzo attraverso un procedimento di sfibratura. Il legame all'interno del pannello è garantito dalla azione coesiva delle sostanze proprie del legno e dall'intreccio delle fibre, il loro legame può eventualmente essere aumentato tramite l'aggiunta alla miscela di collanti artificiali o naturali. Gli elementi si distinguono in due categorie in base al loro contenuto di umidità durante il processo produttivo; pannelli per via umida e pannelli per via secca.

Pannelli di fibra di legno duri e medio duri

Per ottenere questo prodotto le miscele di fibra vengono compattate, essiccate e pressate ad alte temperature. Vengono utilizzati prevalentemente come tamponamenti ma non possono essere utilizzati come elementi con comportamento a lastra per i solai perché con scarsa resistenza meccanica. I pannelli in fibra di legno MDF (medium density fiberboard) permettono la traspirabilità della costruzione grazie alla presenza più elevata di paraffina, un diversa disposizione delle fibre ed una fase di pressatura modificata per ottenere una massa volumica inferiore.

Pannelli truciolari

Il prodotto viene realizzato tramite la pressatura a caldo i particelle di legno; trucioli da pialla, trucioli di segatura, strand, wafer o altre parti-

celle con contenuto di lignina e miscelazione di colla. Sono classificati in base alla loro struttura, dimensioni e forma delle particelle di cui sono composti.

Pannelli OSB

L'OSB (oriented strand board) è un pannello di legno a tre strati con struttura simmetrica composto da strand ovvero trucioli piatti. L'orientamento degli strand avviene parallelamente alla direzione di produzione e generalmente posseggono maggiore qualità; lo strato interno è composto da particelle più sottili con dimensioni diverse, orientate in maniera casuale o perpendicolare al percorso di produzione. La struttura a tre strati perpendicolari l'uno all'altro, conferisce un elevato grado di stabilità al pannello e una maggiore resistenza al taglio. L'applicazione principale è per il tamponamento di costruzioni leggere a telaio.

Le guaine

Guaine freno vapore

La condensa è un fenomeno legato strettamente all'isolamento termico; il vapore sempre presente nell'aria si trasforma in condensa se viene a contatto con superfici fredde. L'aumento della temperatura dell'aria è proporzionale ad un aumento del vapore in sospensione nell'aria stessa. In un ambiente chiuso la quantità di vapore che può essere assorbito dalle pareti in legno è molto bassa, questo vapore però viene rilasciato nel caso in cui la temperatura dell'ambiente torna a salire. Un metodo per limitare l'assorbimento di vapore da parte delle componenti in legno di parete, solaio o copertura è quello di applicare una guaina di freno al vapore. Le guaine che frenano il passaggio di vapore vengono applicate sul lato interno della parete per garantire un passaggio di vapore anche nella direzione opposta in regime estivo.

Guaina anti risalita umidità, caso studio, Baldissero Torinese, scatto durante visita in cantiere.

Guaine traspiranti/impermeabili

Vengono utilizzate sotto il manto di copertura, i loro micro fori permettono la fuoriuscita del vapore dell'elemento ma non permettono l'ingresso della molecola d'acqua più grande di quella del vapore. Spesso vengono utilizzati quando la pendenza della falda non è accentuata.

Barriera al vapore

La barriera al vapore è una membrana che limita completamente il passaggio di vapore, è composta da materiale bituminoso oppure da un accoppiamento di un foglio di polietilene più alluminio. L'aqua che si accumula in superfice deve essere smaltita tramite ventilazione naturale se applicata verso l'esterno o ventilazione forzata se applicata in ambiente interno.

Membrane traspiranti

Le membrane traspiranti presentano una modesta resistenza al passaggio di vapore. Vengono utilizzate in ambienti molto carichi di vapore, la condensa che si forma al di là della membrana però deve essere eliminata, poiché potrebbe provocare accumuli eccessivi di condensa interstiziale.

2.2.5 Le caratteristiche prestazionali

La permeabilità all'aria

Viene definita "permeabilità all'aria" il modo e la quantità in cui l'aria passa in un elemento costruttivo. Convenzionalmente si indica attraverso il trasporto del vapore acqueo dall'esterno verso l'interno e viceversa. L'azione strettamente correlata a questo fenomeno è dunque la nastratura di alcuni elementi in legno che accostati generano fessure.

Il passaggio d'aria incontrollato tra gli elementi e all'interno della struttura, comporta gravi problemi di tipo termico e fenomeni di condensa che potrebbero danneggiare isolanti, tamponamenti e elementi strutturali. Il vapore più specificamente seguirà il flusso del calore; d'inverno dall'interno all'esterno e d'estate viceversa dall'esterno verso l'interno. La condensa si genera a temperature più basse di quelle di saturazione dell'aria, quella prodotta a causa del passaggio d'aria è circa 100 volte più alta di quella fisiologica che si ha in condizioni controllate di passaggio di vapore; questo è uno dei motivi per cui è indispensabile controllare con attenzione le fessure della struttura.

Le conseguenze di una scorretta nastratura possono essere causare: Perdite energetiche dovute ai flussi di aria che attraverso l'involucro trasportano calore verso l'esterno in inverno, o ingresso d'aria calda in estate. Perdite energetiche dovute al peggioramento delle caratteristi-

Fessura tra due pareti prefabbricate, cantiere caso studio, Baldissero Torinese, foto scattata durante l'analisi delle fessure.

che isolanti dei materiali che colpiti dall'aria possono essere soggetti ad accumulo di umidità, che portano ad un abbassamento delle proprietà isolanti del materiale. Riduzione del rendimento degli impianti di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore; gli spifferi e le infiltrazioni di aria generano ricambi d'aria eccessivi e indesiderati, in quanto parte dell'aria calda uscirà attraverso l'involucro da punti non previsti "bypassando" lo scambiatore di calore, dunque parte del calore disponibile non sarà recuperato e utilizzato per riscaldare l'aria di rinnovo in ingresso. La riduzione del comfort termico, con infiltrazioni d'aria fredda nell'involucro edilizio e conseguente riduzione locale delle temperature o addirittura infiltrazioni vere e proprie oltre l'involucro (spifferi). Il crollo dell'umidità relativa con l'ingresso d'aria fredda secca in inverno. La riduzione della qualità dell'aria dovuta all'ingresso di inquinanti e odori che possono compromettere la salubrità dell'aria. Il peggioramento dell'isolamento acustico, le onde sonore trasportate dall'aria potrebbero abbassare il comfort acustico.

I punti più critici dove può verificarsi una mancata tenuta all'aria sono in corrispondenza di qualsiasi elemento che vada a interromperne la continuità, come ad esempio gli infissi, i comignoli, le giunzioni tra una parete prefabbricata e l'altra, l'accostamento dei pannelli di tamponamento di strutture a telaio ecc.

Una buona tenuta all'aria si garantisce trovando una sintesi tra progettazione ed esecuzione e predisponendo due strati ermetici al passaggio d'aria: nello strato interno un freno a vapore e nello strato esterno una barriera al vento con alta traspirabilità. In situazioni in cui la tenuta all'aria è garantita dall'elemento strutturale, come ad esempio il pannello di OSB, si provvederà alla sola nastratura delle giunzioni tra un elemento e l'altro.

Fessura tra due pareti prefabbricate e soluzione per la tenuta all'aria tramite nastro monoadesivo (giallo blu), cantiere caso studio, Baldissero Torinese.

L'isolamento acustico

Il suono è ciò che viene percepito dall'orecchio umano quando un oggetto elastico vibra tra i 16 e 2400 Hertz, al di sopra e al di sotto di tali frequenze troviamo rispettivamente gli ultrasuoni e gli infrasuoni che non sono percepiti dall'orecchio umano. La legge 447 del 1995 definisce i limiti acustici che un fabbricato edilizio deve rispettare, con l'obbiettivo di salvaguardare la qualità ambientale e l'esposizione dell'uomo al rumore proveniente dall'interno o dall'esterno dell'abitazione. Il progettista è obbligato ad inserire all'interno del progetto sistemi o tecnologie atte a migliorare l'isolamento acustico che dovranno essere eseguite perfettamente durante la fase di cantiere.

I valori limite vengono espressi in decibel e non devono superare i 50db per involucri edilizi ad uso abitativo. La legge del 5 dicembre 1997 organizza i parametri di legge classificando gli ambienti abitativi in 6 categorie: A – edifici adibiti a residenza, B – uffici, C – alberghi, D – ospedali e cliniche, E – scuole, F – edifici per il culto.

Le vibrazioni provenienti dall'esterno possono trasmettersi facendo vibrare le pareti perimetrali e il solaio che trasmette l'onda sonora incidente anche alle partizioni interne. Le aperture possono essere un punto critico per la trasmissione del suono, il fissaggio scorretto e non ermetico permetterebbe il passaggio d'aria con conseguente passaggio di onde sonore. Una semplice soluzione è l'utilizzo di materiali isolanti all'interno della parete perimetrale e la predisposizione di elementi specifici tra i vari collegamenti dell'involucro con i solai e le partizioni interne. I prodotti specifici, isolanti o elementi da interporre tra le giunzioni hanno diverse caratteristiche strutturali e proprietà fono assorbenti. Il coefficiente di assorbimento di un materiale viene indicato con la lettera "d" e va d a 0 a 1 in base al grado di assorbimento. Ogni materiale fono assorbente trasforma l'energia delle onde sonore in calore, più vicino a uno sarò il valore "d" e maggiori saranno le capacità fono assorbenti del materiale utilizzato.

Le pareti isolanti dovrebbero riflettere verso l'esterno il suono proveniente dalle zone limitrofe al fabbricato e assorbire quelli provenienti dall'interno, un materiale con capacità riflettenti è compatto e pesante, un materiale che assorbe è poroso e leggero dunque è buona norma progettare stratigrafie composte.

Le vibrazioni negli elementi in legno si trasmettono in tutte le direzioni, ovvero possono percorrere longitudinalmente, parallelamente e trasversalmente le fibre dell'elemento. All'interno delle abitazioni il suono può trasmettersi via aerea tra gli ambienti, per via solida tra le pareti, attraverso il calpestio e dagli impianti tecnici. Nelle costruzioni in legno il suono si trasmette facilmente attraverso le varie tubazioni e giunti, è per questo necessario prevedere degli elementi specifici da interporre tra gli elementi che dovranno unirsi per formare la struttura abitativa. Esistono sistemi per migliorare l'assorbimento sonoro proveniente dall'interno, ad esempio è utile disporre contro le pareti fodere si materiale fonoassorbente, oppure applicare alla parete lastre di compensato con piccole cavità che hanno forme particolari nelle quali si disperde l'energia incidente senza produrre suoni.

Particolari attenzioni progettuali ed esecutive sono necessarie nei confronti del solaio poiché trasmettono il rumore aereo e quello di calpestio. Per questo motivo si utilizzano guaine anti calpestio per la creazione di solai galleggianti e guarnizioni con diverse gamme di carico da interporre tra la trave e la parte portante. Le viti e il fissaggio con elementi di acciaio sono punti di trasmissione del suono se non be isolati e fissati adeguatamente, il passaggio degli impianti idrici all'interno del solaio può dare luogo a vibrazioni sonore fastidiose che si possono abbattere mediante l'uso di attacchi anti vibrazione. Una soluzione più efficace per le costruzioni in legno è l'inserimento degli impianti all'interno di appositi vani tecnici isolati acusticamente.

Gli elementi per l'isolamento termico

Pannelli in fibra di legno

L'isolante in fibra di legno nasce nel 1812 ed è un coibente termoacustico naturale, deriva da scarti di lavorazione del legno, principalmente segheria e tondame di piccole dimensioni non utilizzabile per produrre segati. Il pannello in fibra di legno non contiene sostanze tossiche al suo interno, è quindi privo di additivi. Per produrlo vengono ridotti in dimensioni adeguati gli sciaveri della lavorazione del legno tramite delle apposite macchine (sfibratori) che lo trasformano in lanuggine. La seconda fase prevede la bollitura della lanuggine e successivamente la formazione dei materassini sottoposti a pressatura tramite leganti naturali. Ogni pannello in fibra di legno segue la normativa EN 13501-1 che definisce le seguenti caratteristiche: nessun componente artificiale, materiale riciclabile, resistente al calpestio, elevata stabilità, elevata capacità di dispersione del vapore, elevata qualità di isolamento termico e acustico, elevata traspirazione. Esistono due grandi tipologie, i pannelli in fibra di pioppo che usano come legante la magnesite e pannelli in fibra di conifere che usano come materiale la lignina presente nella specie legnosa.

Pannello in fibra di legno per cappotto intonacabile

Il pannello in fibra di legno per cappotto differisce dagli altri isolanti in fibra di legno per il suo peso specifico e la sua resistenza meccanica. Vengono utilizzati generalmente pannelli con peso specifico che varia dai 140 ai 180 kg/mc per garantire resistenza a compressine, rigidezza e facilità d'impiego. I pannelli per cappotto presentano una sagomatura maschio e femmina i lati per facilitare, migliorare la posa in opera e garantire le prestazioni termoisolanti. Ogni elemento presenta profondità e dimensioni variabili a seconda dell'azienda produttrice, generalmente vengono prodotti con altezza pari a 60 cm e lunghezze che variano dai 125 cm ai 250 cm.

Pannello in lana di legno

Il pannello in lana è formato da fibre di legno di conifera successivemente impregnate con cemento e magnesite per definire il grado di robustezza. Il materassino prodotto è sottoposto a essiccatura e successivamente a taglio. Il pannello in lana di legno mineralizzato garantisce un costante microclima interno, è traspirante e ha buone caratteristiche di fono assorbenti e isolanti. Come gli altri materiali naturali non additivati non sviluppa gas nocivi in caso di combustione. Vengono utilizzati come isolanti nelle pareti perimetrali divisorie, controsoffitti, solai, come correzione di ponti termici e risanamento di murature umide.

Pannelli morbidi in lana di pecora

La lana di pecora è il materiale per costruire secondo i principi della bioedilizia, ha un elevate capacità igroscopica e ottime capacità termoisolanti, la sua caratteristica peculiare è quella di essere idrorepellente e allo stesso tempo di assorbire l'umidità, fino al 33% in forma di vapore acqueo. Questa caratteristica permette di ridurre il rischio causato da condensa all'interno della struttura. La lana di pecora viene trasformata in pannelli morbidi per l'utilizzo in edilizia tramite un ridottissimo impiego di energia.

Pannello di sughero

I pannelli in sughero si ricavano dalla corteccia della quercia da sughero che viene coltivata in tutta l'area mediterranea. Il sughero viene ricavato staccando la corteccia ogni 7/10 anni e viene macinata in grani di dimensioni prestabilite per poi essere cotto a vapore acqueo in serbatoi sotto pressione ad una temperatura di 370°C. Questo processo fa espandere il composto del 30% che poi verrà successivamente pressato legandosi con la propria resina. L'azienda produttrice provvederà alla produzione di pannelli aventi dimensioni prestabilite richieste dal mercato.

Pannello in EPS

L'EPS conosciuto anche come polistirene o polistirolo espanso è un materiale rigido, leggero e con ottime proprietà isolanti. L'EPS è composto da carbonio, idrogeno e aria, per una quantità pari al 98%. La componente principale del pannello è lo stirene che per essere utilizzato subisce un processo di polimerizzazione. È composto da perle trasparenti che hanno una capacità di espansione fino a 50 volte il loro volume iniziale. La polimerizzazione è il processo che permette di intrattenere aria all'interno delle tramite delle celle chiuse. Le perle prodotte dal processo di polimerizzazione vengono poi saldate per la formazione dei pannelli. Il polistirolo espanso è un materiale rigido, resistente ad agenti chimici acquosi e con ottime proprietà meccaniche. Le celle chiuse di cui è composto gli permettono di avere una conduttività termica molto bassa che persiste col passare del tempo. L'umidità e le sollecitazioni ambientali e di cantiere infatti non riducono le prestazioni termofisiche di questo materiale. L'EPS per la sua struttura fisica risulta essere permeabile al vapore acqueo ma impermeabile all'acqua, questo permette di prevenire la formazione di muffe e garantisce un livello di impermeabilità all'edificio. Il polistirolo, costituito prevalentemente da carbonio e ossigeno è un materiale combustibile che si decompone a 260 ° C e si accende a 450 °C, è atossico perché privo di clorofluorocarburi (CFC) né idroclorofluorocarburi (HCFC). Viene utilizzato nelle costruzioni in legno come isolamento per: tetti a falde e dei tetti piani, pareti verticali dall'esterno, cappotto, pavimenti e soffitti.

Gli isolanti termo riflettenti

L'idea nasce dallo studio del ricercatore Nanfang Yu che prevedeva di analizzare le formiche del deserto, era incuriosito dalla loro capacità di sopravvivere alle temperature che arrivavano fino a 70°C. La fitta peluria dai bagliori argentati della formica permetteva di dissipare e disperdere il calore sulla sua superficie.

L'isolamento termo riflettente viene inserito all'interno della stratigrafia di un componente edilizio perimetrale e deve essere rigorosamente inserito tra due intercapedini d'aria. Le due camere d'aria interposte fra l'isolante e la parete permettono di sfruttare al meglio le caratteristiche termoriflettenti del materiale, infatti il valore di resistenza termica delle camere d'aria varia sensibilmente in base all'emissività dei materiali adiacenti alla camera. L'emissività di un materiale termo riflettente è pari a 0.02, quindi permette di aumentare le capacità isolanti della camera d'aria di ben 4 volte. La norma di riferimento UNI EN 16012 del 01/03/2012 descrive una serie di procedure per ricavare i valori di prestazione termica dell'involucro se si adopera l'elemento termo riflettente. In mercato esistono termo riflettenti con prestazioni differenti e capacità di trattenere o far passare il vapore.

Campi di applicazione dei materiali isolanti

La provincia autonoma di Bolzano – Alto Adige – nel documento "Isolamento termico degli edifici ", pubblicato nel 2007 indica le applicazioni dei materiali isolanti consigliate per le parti principali degli edifici e cita quanto segue:

1 - Isolamento dell'ultimo solaio: perlite espansa, polistirolo espanso, polistirolo estruso, lino, lana di vetro e di roccia, canapa, fibra di legno, sughero, minerale espanso, lana di pecora, vetro cellulare, cellulosa

2 - Isolamento sopra le travi portanti: polistirolo espanso, polistirolo estruso, lana di vetro e di roccia (compressione dura), canapa, fibra di legno, sughero, poliuretano, vetro cellulare

3 - Isolamento tra le travi portanti: polistirolo espanso (pannelli autobloccanti), lino, lana di vetro e di roccia, canapa, fibra di legno, lana di pecora, cellulosa

4 - Isolamento esterno delle pareti: sistema compound termoisolante: polistirolo espanso, polistirolo estruso, canapa, lana di vetro e di roccia

(compressione dura), fibra di legno, sughero, minerale espanso, vetro cellulare Costruzione leggera in legno: lino, lana di vetro e di roccia, canapa, fibra di legno, lana di pecora, cellulosa.

5 - Isolamento di intercapedine: perlite espansa, polistirolo espanso, polistirolo estruso, lino, lana di vetro e di roccia, canapa, fibra di legno, sughero, minerale espanso, vetro cellulare, cellulosa.

6 - Isolamento acustico anti calpestio: perlite espansa, polistirolo espanso, lino, lana di vetro e di roccia, canapa, fibra di legno, sughero, lana di pecora

8 - Isolamento tubazioni: lana di vetro e di roccia, poliuretano, vetro cellulare

9 - Isolamento interno della parete: silicato di calcio, cellulosa (con struttura interna a diffusione aperta!) poliuretano accoppiato con alluminio, vetro cellulare, isolamento sottovuoto (posa stagna al vapore!) L'isolamento interno richiede una progettazione ed un'esecuzione accurata a regola d'arte.

10 - Pavimento scantinato: polistirolo espanso (idrofobizzato), polistirolo estruso, vetro cellulare

La durabilità degli elementi in legno

Viene definita durabilità del legno il periodo di tempo entro il quale la resistenza meccanica rimane invariata e l'elemento non presenta patogenicità. La normativa UNI EN 350-2 definisce le classi di rischio degli elementi in legno in base alla specie, al trattamento e al suo utilizzo. Il rischio è diviso in 5 classi, e sono inversamente proporzionali alla durabilità.

Classe di rischio 1: situazione in cui il legno o il prodotto a base di legno è riparato, completamente protetto dagli agenti atmosferici e non esposto all'umidità.

Classe di rischio 2: situazione in cui il legno o il prodotto a base di legno è riparato o completamente protetto dagli agenti atmosferici, dove un elevata umidità ambientale può determinare umidificazione occasionale ma non persistente

Classe di rischio 3: Situazione in cui il legno o il prodotto di legno non è riparato e non si trova a contatto con il terreno. Esso si trova continuamente esposto agli agenti atmosferici oppure, pur essendo protetto, è soggetto a umidificazione frequente.

Classe di rischio 4: situazione in cui il legno o il prodotto di legno si trova a contatto con il terreno o con l'acqua dolce ed è, pertanto, permanentemente esposto all'umidificazione.

Classe di rischio 5: situazione in cui il legno o il prodotto di legno risulta permanentemente esposto all'acqua salata.

Gli elementi di legno vengono attaccati da agenti naturali che influiscono sulla sua durabilità, si distinguono in:

Agenti patogeni

Sono insetti o funghi, i primi scavano all'interno del legno massiccio delle gallerie più o meno lunghe che possono compromettere la resistenza meccanica, è opportuno quindi conoscere le varie specie di insetti per limitare gli effetti. I funghi si proliferano in condizioni umide e la loro presenza può compromettere l'aspetto estetico del materiale, per esempio l'azzurramento della superficie. Un'esposizione maggiore con un tasso di umidità al di sopra del 30% per un periodo protratto nel tempo può far sviluppare la presenza di funghi lignivori denominati agenti di carie che limitano la resistenza meccanica sino ad annullarla.

Agenti abiotici

Il sole e l'acqua causano fenomeni di ritiro e rigonfiamento dell'elemento. Se sottoposto a luce solare il legno tende a perdere l'umidità

interna che causa una diminuzione della sezione, il fenomeno inverso corrisponde alla riassunzione dell'umidità da pare del legno ed è detto rigonfiamento. Le conseguenze di questo fenomeno sono la fessurazione e un colore grigio sulla superficie.

Umidità interstiziale

L'umidità presente nell'aria si deposita su corpi più freddi rispetto alla temperatura dell'aria. Nel periodo estivo la capacità di un corpo freddo (il legno), di attrarre il vapore dell'aria, è più elevata rispetto ad un corpo caldo (il metallo); dunque tra legno e metallo si forma umidità interstiziale che provoca muffe e attacchi xilofagi. In inverno si ha la situazione opposta che genera ugualmente umidità tra le due facce a contatto.

La resistenza al fuoco

Un elemento in legno sottoposto ad alte temperature, perde progressivamente l'umidità; sottoposto a temperature intorno ai 100°C, l'umidità interna svanisce completamente, all'interno dell'elemento iniziano una serie di trasformazioni fisiche che lo porteranno alla combustione.

La trave in legno massiccio reagisce nei confronti del fuoco proteggendosi con lo strato di carbonio superficiale che in condizioni critiche inizia la combustione e prosegue a velocità costante e nota. La sezione della trave diminuisce via via sempre di più ma la parte centrale mantiene inalterate le sue caratteristiche strutturali, permettendo alla struttura di non collassare fino al raggiungimento della sezione critica. Gli elementi in acciaio invece iniziano a perdere le loro funzioni strutturali fin da subito, collassando improvvisamente. È di facile intuizione constatare che le parti più deboli in caso d'incendio in una struttura in legno siano le connessioni in acciaio non protette. Le connessioni metalliche favoriscono la trasmissione del calore all'interno della struttura e sono caratterizzati da una repentina perdita delle loro resistenze meccaniche.

La resistenza al fuoco REI

Viene definita come resistenza al fuoco l'attitudine a mantenere capacità portante sotto l'azione diretta del fuoco. I requisiti sono: la stabilità R è l'attitudine di un elemento da costruzione a conservare la resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco; la tenuta E è la capacità di un elemento da costruzione di non lasciare passare, produrre fiamme, vapori, gas caldi sul lato non esposto alla fiamma, l'isolamento termico I è l'attitudine a ridurre la trasmissione di calore dell'elemento.

La sigla REI identifica un elemento costruttivo che deve conservare per un dato periodo di tempo la *stabilità, la tenuta e l'isolamento termico*. Qualora si dovessero identificare materiali strutturali in base alla resistenza al fuoco la sigla risulterebbe solo con la lettera R di stabilità, per esempio R90 dove il numero esprime i minuti necessari alla perdita delle caratteristiche strutturali. La sigla viene utilizzata in base agli elementi; per elementi non portanti ci si riferisce ai requisiti E-I, quelli strutturali R e per alcuni isolanti soltanto la sigla I.

La resistenza al fuoco dei materiali strutturali principali

Ogni materiale è fornito di certificato di omologazione del Ministero dell'interno rilasciato su prove sperimentali; per i materiali di rivestimento o di finitura sono stabilite 5 classi di resistenza. Il *legno massiccio* è un materiale combustibile che resiste al fuoco, infatti la resistenza meccanica di una trave non è influenzata dall'aumento di temperatura nella sezione residua resistente che viene opportunamente calcolata dallo strutturista in precedenza. L'*acciaio* è un materiale incombustibile con classe di reazione pari a 0, però perde le sue caratteristiche di portanza già a 400°C, temperatura che generalmente si raggiunge già dopo 10 minuti di incendio standard. Il *cemento armato* sottoposto ad alte temperature perde capacità portante per le fortissime dilatazioni dovute all'armatura interna che tende a strappare il legame del cemento fino ad arrivare a dei veri e propri scoppi all'interno dell'elemento portante.

Il *legno lamellare* presenta delle caratteristiche meccaniche che non vengono influenzate dalla fiamma se l'elemento è ben proporzionato strutturalmente; la sezione sovradimensionata di 3-4 cm è in grado di elevare la classe di resistenza al fuoco senza l'utilizzo di trattamenti superficiali.

Alcuni accorgimenti migliorano e semplificano il raggiungimento della classe di resistenza al fuoco che deve essere la stessa per tutti gli elementi strutturali, indipendentemente dal materiale. Le connessioni metalliche devono essere opportunamente protette o incassate nel legno, le controventature dovrebbero essere realizzate in legno o in tondini d'acciaio opportunamente rivestito, le orditure se hanno funzione portante devono essere opportunamente ignifugate, gli arcarecci devono essere appoggiati all'estradosso della trave piuttosto che vincolate con scarpette metalliche, è utile la predisposizione di camini per portare la fiamma verso l'esterno, l'utilizzo di isolanti facilmente combustibili facilitano l'evacuazione dei fumi.

Le norme europee e nazionali

Il quadro legislativo CEN ovvero il Comitato Europeo di Normazione regola e implementa le norme valide per tutti i paesi dell'UE. All'interno del quadro normativo con il termine *prodotto da costruzione* si indica testualmente "qualsiasi prodotto fabbricato con lo scopo di essere incorporato permanentemente in opere di costruzione che comprendono edifici e opere di ingegneria." I prodotti per uso costruttivo sono idonei soltanto se presentano la marcatura CE che garantisce requisiti essenziali, tale marcatura viene rilasciata soltanto al superamento di determinati test sottoposti da Enti terzi alla produzione.

La norma UNI

È emessa dall'Ente Nazionale italiano di Unificazione che svolge attività di normazione in ambito industriale, è un documento d'obbligo che viene eseguito consensualmente da pubblica amministrazione, produttori, venditori, laboratori, utilizzatori e consumatori. Lo "stato dell'arte" dei prodotti, processi e servizi viene definito dalle figure partecipanti e ha lo scopo di migliorare la sicurezza d'uso, il rapporto con l'ambiente, la commercialità e la qualità.

La norma ISO

È una norma tecnica messa dall'ente mondiale International Organization for Standardizzazione svolge attività normativa a livello mondiale. Gli enti normatori come l'UNI sono gli enti che ne fanno parte.

La norma EN

È una norma tecnica europea emanata dall'organismo europeo CEN, viene recepita a livello nazionale e sostituisce la rispettiva norma sullo stesso argomento o materia, viene contrassegnata con la sigla EN seguita da un numero identificativo.

La norma UNI EN

È la norma EN recepita dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione, valida in Italia e nei paesi europei aderenti al CEN.

La regola tecnica

È il documento emanato dal Consiglio delle Comunità Europee che contiene norme, specifiche tecniche e codice di pratica, pertanto la sua osservanza è obbligatoria perché rilasciata da un organo avente potere legislativo.

Codice di pratica

È il documento che precisa le regole e le procedure per la progettazione, la fabbricazione, l'installazione, la manutenzione o l'utilizzazione di strutture o prodotti.

ETA: Benessere Tecnico Europeo

È una modalità per l'acquisizione dell'attestato di conformità dei prodotti da costruzione, è prevista dalla direttiva 89/106/CEE e viene definita come: "Valutazione tecnica positiva dell'idoneità di un prodotto per l'impiego previsto, fondata sulla corrispondenza ai requisiti essenziali per le opere per le quali il prodotto deve essere utilizzato".

La certificazione di prodotto

È la certificazione di conformità della qualità di un prodotto, attesta che caratteristiche di qualità, durabilità, affidabilità e sicurezza siano in linea con la norma specifica.

La norma CE

Istituita dalla Comunità Economica Europea è inserita nella legislazione comunitaria del Mercato Interno Comunitario. Viene espressa con la sigla CE adeguatamente visibile e indelebile sul prodotto e attesta che il prodotto non possa arrecare danno alla salute, all'ambient e alla persona, garantendo la salute degli utilizzatori. I requisiti essenziali per l'uso sono: resistenza meccanica e stabilità, sicurezza in caso d'incendio, igiene, salute, ambiente, sicurezza nell'impiego, protezione contro il rumore, risparmio energetico e ritenzione dal calore.

Capitolo III - Il coordinamento modulare del caso studio

3.1 VASS Technologies

Per chiarire meglio il contestro entro il quale sì è sviluppata la tesi risulta necessario presentare una breve introduzione dell'azienda presso la quale ho svolto l'esperienza di tirocinio.

L'azienda VASS è specializzata in sviluppo, progettazione e produzione di case prefabbricate in legno, ad alta efficienza energetica. L'acronimo fa riferimento alla frase latina "*Veræ Amicitiæ Sempiternæ Sunt*" (resa in italiano *"Le amicizie vere sono eterne"*), emblema dell'amicizia tra i consociati da cui l'impresa nasce e che vede come amministratore delegato l'ing. Giuseppe Gianolio.

Le case prefabbricate in legno prodotte dall'azienda sono ad alto comfort abitativo e bassi costi di gestione, grazie all'elevata efficienza energetica garantita da una coibentazione ottimale capace di isolare dal freddo invernale e proteggere dal caldo estivo. Gli elementi che compongono il fabbricato sono certificati da laboratori esterni e rispondono a

Fotografia del caso studio che mostra l'nvolucro strutturale ultimato, Baldissero Torinese, foto di Alessandro santi, settembre 2018

rigorosi standard qualitativi. Le pareti, i solai e il tetto vengono pre-assemblati in azienda e montati in cantiere da installatori professionisti i c.d. *VASS pro*, in grado di garantire la qualità di posa richiesta. L'impresa lascia spazio ad una progettazione flessibile, permettendo di scegliere liberamente la disposizione dei locali interni, configurare i materiali e lo stile dei rivestimenti – esterni così come interni –, modificare la forma del tetto, la tecnologia e il manto di copertura, consentendo, inoltre, di scegliere tra un'ampia gamma di aperture, con diverse prestazioni energetiche, sempre in relazione all'intero involucro abitativo, che può differire di tre classi energetiche; media, alta e altissima prestazione.

L'azienda VASS, offre varie soluzioni di impianti, atti a creare un ambiente confortevole ad alta efficienza energetica attraverso il rincalzo di più fattori; la predisposizione dell'impianto di riscaldamento a pavimento, il progetto e l'installazione di una pompa di calore specifica in grado di generare acqua calda sanitaria da distribuire negli ambienti prestabiliti, la progettazione e installazione del sistema di ventilazione meccanica con recupero di calore, che assicura un controllo e un ricircolo d'aria in tutti gli ambienti abitativi, permettendo così di evitare fenomeni quali l'aumento d'umidità, che comporterebbero facili manifestazioni di condensazione e discomfort ed, infine, la predisposizione di un impianto fotovoltaico e di un sistema per il recupero delle acque piovane, sulla copertura.

VASS Industries è la sezione che si dedica alla progettazione e produzione di modelli di case predefiniti. Le case standardizzate sono classificate in base alla superficie in 'taglie', dalla S – di 60 m² circa, disposta su di un unico piano – alla XL – di oltre 100 m², su due livelli. I modelli, vengono proposti con la possibilità di effettuare delle variazioni nella configurazione degli interni e nella scelta delle finiture interne ed esterne.

Foto dell'apertura a tutta altezza del caso oggetto di studio, Baldissero Torinese, foto di Alessandro santi, settembre 2018

Puzzle Roof – il tetto modulare di VASS

La copertura progettata e realizzata dall'azienda permette di eseguire tetti a una o più falde, tetti piani e tetti giardino.

Il tetto ventilato proposto da VASS è costituito da moduli pre-assemblati in azienda, composti da diversi strati; i *listelli di ventilazione* in legno, che sorreggono la copertura esterna rendendo il tetto ventilato; *un telo,* che rende il tetto traspirante, ma anche impermeabile all›acqua e al vento; un "sandwich" di *materiali isolanti,* studiati per ottimizzare sia l'isolamento termico, che l'inerzia termica del tetto; ed il *rivestimento interno,* in perline o pannelli piani.

I moduli del tetto VASS sono pre-assemblati in azienda e integrati con impianti di illuminazione e sonori; gli elementi vengono installati in cantiere e fissati con viti sulla struttura portante, questo permette di ridurre i tempi di cantierizzazione al minimo; dai 20 giorni delle coperture tradizionali a 1-3 giorni con la soluzione prefabbricata offerta dall'azienda. Gli stessi vengono trasportati in kit appositi in cantiere, il montaggio è pensato per essere estremamente semplice, così da evitare ogni possibile errore di installazione, garantendo massima qualità, costi certi e tempi rapidi. L'assemblaggio del tetto è davvero velocissimo, l'utilizzo di puntatori laser assicura la posizione esatta di viti e punti di fissaggio, l'impiego di dime di assemblaggio stabilisce una massima precisione delle dimensioni; una copertura da 110mq si può realizzare in 1 solo giorno con tre soli operai; un tetto da 250mq si realizza in un massimo di 3 giorni, con solo tre operai.

La prefabbricazione in azienda dei moduli permette un elevato controllo qualitativo di tutte le fasi del processo, questo si ripercuote in maniera positiva sulla durabilità e qualità complessiva dell'elemento finale. L'azienda certificata ISO 9001 garantisce il controllo e la gestione degli standard qualitativi attraverso una serie di test specifici: calcolo

Particolare che mostra l'accostamento di tre materiali strutturali: pilasto in C.A, pilastro in legno lamellare e putrella in acciaio IPE, Baldissero Torinese, foto di Alessandro santi, settembre 2018

e prevenzione della formazione di condensa attraverso il diagramma di Glaser, studio del comportamento termico di ogni modulo – con i dati di trasmittanza calcolati preventivamente –, certificazione delle giunzioni inter-modulo – sia a livello termico sia per la tenuta all'acqua –, calcolo dello sfasamento termico, test strutturale, ed infine Blower door test.

Lo studio dei fenomeni di condensazione all'interno della stratigrafia viene effettuato attraverso il metodo di Glaser, come descritto nella norma UNI EN ISO. Il metodo consente, una volta prestabilite le condizioni termo igrometriche interne ed esterne, di verificare se su una struttura piana, asciutta, possa verificarsi condensazione di vapore all'interno. In assenza di fenomeni di condensazione l'andamento della pressione di vapore attraverso la stratigrafia è rappresentato da una funzione lineare; se durante il processo di trasmissione del vapore, in qualche punto si raggiungono condizioni di saturazione, si può avere condensazione del vapore e formazione di acqua liquida. Secondo il metodo di Glaser, l'andamento della pressione di vapore in una qualunque parete può essere stabilito, anche nel caso di formazione di condensa, mediante un semplice procedimento grafico che mostra l'andamento di due linee di pressione del vapore, quella critica (saturazione) e quella di progetto, i punti d'intersecazione di tali linee indicheranno le posizioni all'interno della stratigrafia ove avverrà condensazione di vapore.

La verifica termico-prestazionale degli elementi dell'involucro edilizio, viene effettuata tramite il test in camera climatica dal laboratorio esterno Z Lab Engineering. Il test permette di verificare la presenza o assenza di ponti termici nelle giunzioni tra i moduli del tetto. I test effettuati sulla copertura, mostrano l'assenza di ponti termici rivelando come le guarnizioni tra gli elementi garantiscano la continuità termica.

Per la verifica acustica della struttura vengono effettuati test in opera o in laboratorio, seguendo le direttive della norma EN ISO 140. Il laboratorio Z Lab Engineering, incaricato nell'effettuare il test acustico sul tetto fornirà valori sul potere fonoisolante espressi in dB. I test sulla copertura mostrano un potere fonoisolante sopra la norma (42 db) superiore a quanto richiesto dal D.P.C.M. 5.12.97.

Le verifiche strutturali sulla copertura vengono effettuate sul modulo e sul sistema di fissaggio allo stato limite ultimo. Il test prevede il sovraccarico dell'elemento prefabbricato, fino al cedimento delle componenti strutturali della copertura. Le prove sperimentali effettuate dal Politecnico di Torino mostrano un primo cedimento dei listelli a 4.400 kg/mq, a fronte dei 852 kg/mq richiesti dalla norma sopracitata, in zona montana. Il caso oggetto di studio entro il quale ho condotto le analisi è un'abitazione destinata a B&B e situata a Baldissero Torinese. L'esperienza di tirocinio all'interno dell'azienda VASS technologies mi ha permesso di analizzare e visionare parte delle fasi progettuali e realizzetive del fabbricato.

3.2 L'analisi del caso studio: B&B a Baldissero Torinese

L'oggetto in esame avente pianta rettangolare, si sviluppa su due piani fuori terra e al suo interno vengono dislocate le funzioni abitative che si articolano in zona giorno al piano terra e zona notte al primo piano.Il tutto è coperto da una copertura a doppia falda inclinata.

Il piano terra è destinato alla zona giorno della casa ed è caratterizzato da una scala centrale che occupa parte del grande salone, dietro il vano scala è dislocato uno spazio destinato a lavanderia raggiungibile attraverso una porta nel sottoscala. L'ingresso del B&B è posizionato nell'angolo sud-est e coincide con l'area di ricevimento degli ospiti che usufruiranno del servizio, adiacente a questa stanza vi è il bagno che serve la zona giorno e una camera singola (stanza del proprietario) posizionata sempre al piano terra nell'angolo nord- est dell'abitazione.

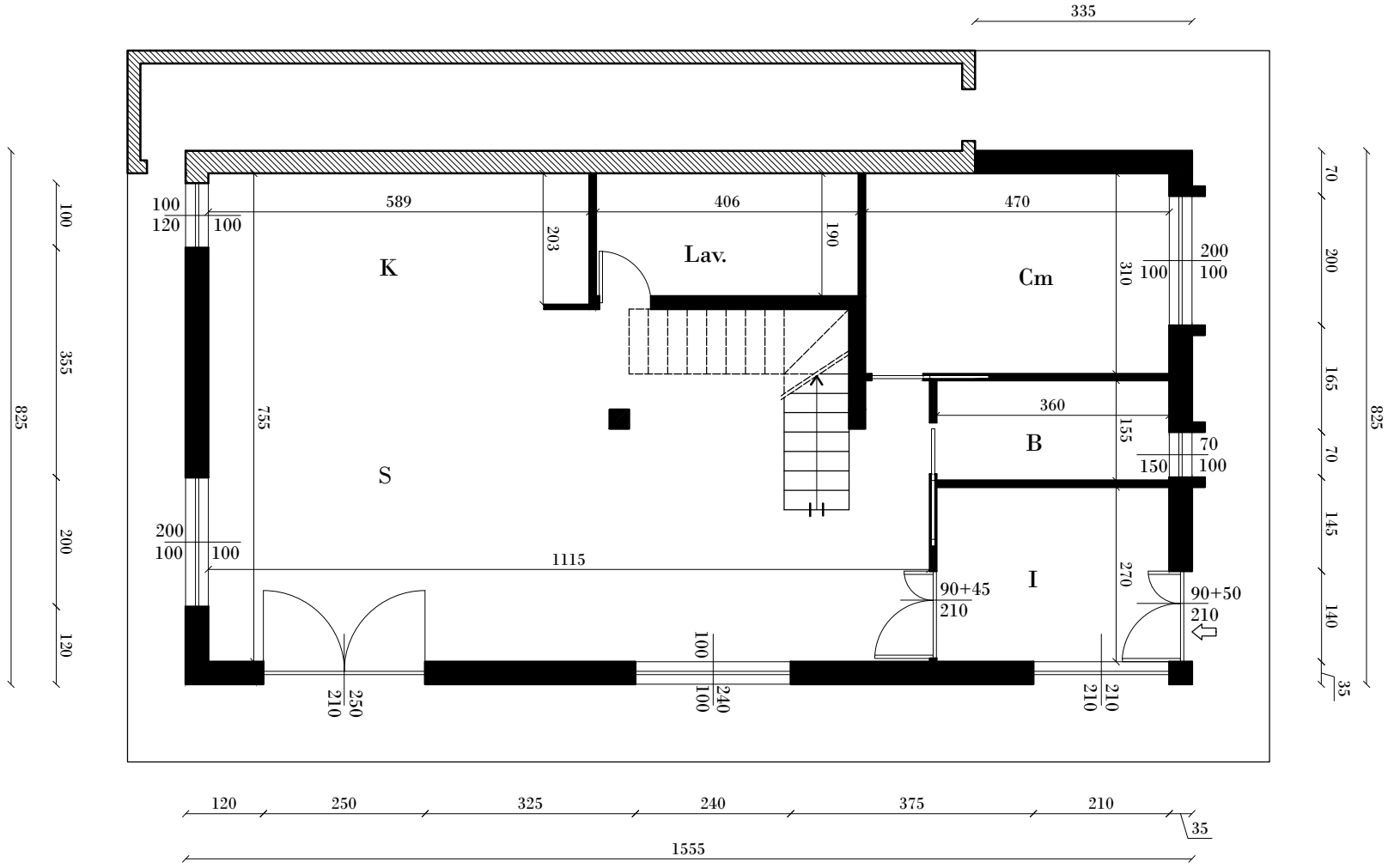
Il piano primo è composto da tre bagni di cui due privati e quattro camere da letto. L'ingresso delle camere posizionate sul lato nord dell'edificio è dislocato sul pianerottolo per garantire l'ingresso in camera anche durante le ore notturne. Il piano primo è caraterizzato da una grande superficie vetrata a *bow window* che illumina il disimpegno e il piccolo spazio comune ricreativo.

L'involucro abitativo è realizzato tramite la tecnologia costruttiva *platform frame* e si appoggia su una struttura esistente in C.A (muro controterra). I pilastri interni dell'abitazione sono realizzati in cemento armato gettato in opera insieme alla platea di fondazione e si sviluppano solo fino al piano terra per poi proseguire in legno lamellare. Per mantenere invariata la sezione di alcune travi ed evitare travi lamellari ribassate sono state inserite delle travi IPE in acciaio che rivestono il ruolo di orditura principale all'interno del solaio.

Le aperture distribuite sulle pareti perimetrali non seguono la geometria regolatrice del telaio, di 62,5 cm, sono quindi posizionate senza tenere conto della fitta rete di montanti con cui è costituita la parete prefabbricata; questo comporta l'inserimento di ulteriori montanti atti a garantire l'unione del controtelaio alla parete e l'adeguato fissaggio del tamponamento in OSB tra parte modulare e bucatura.

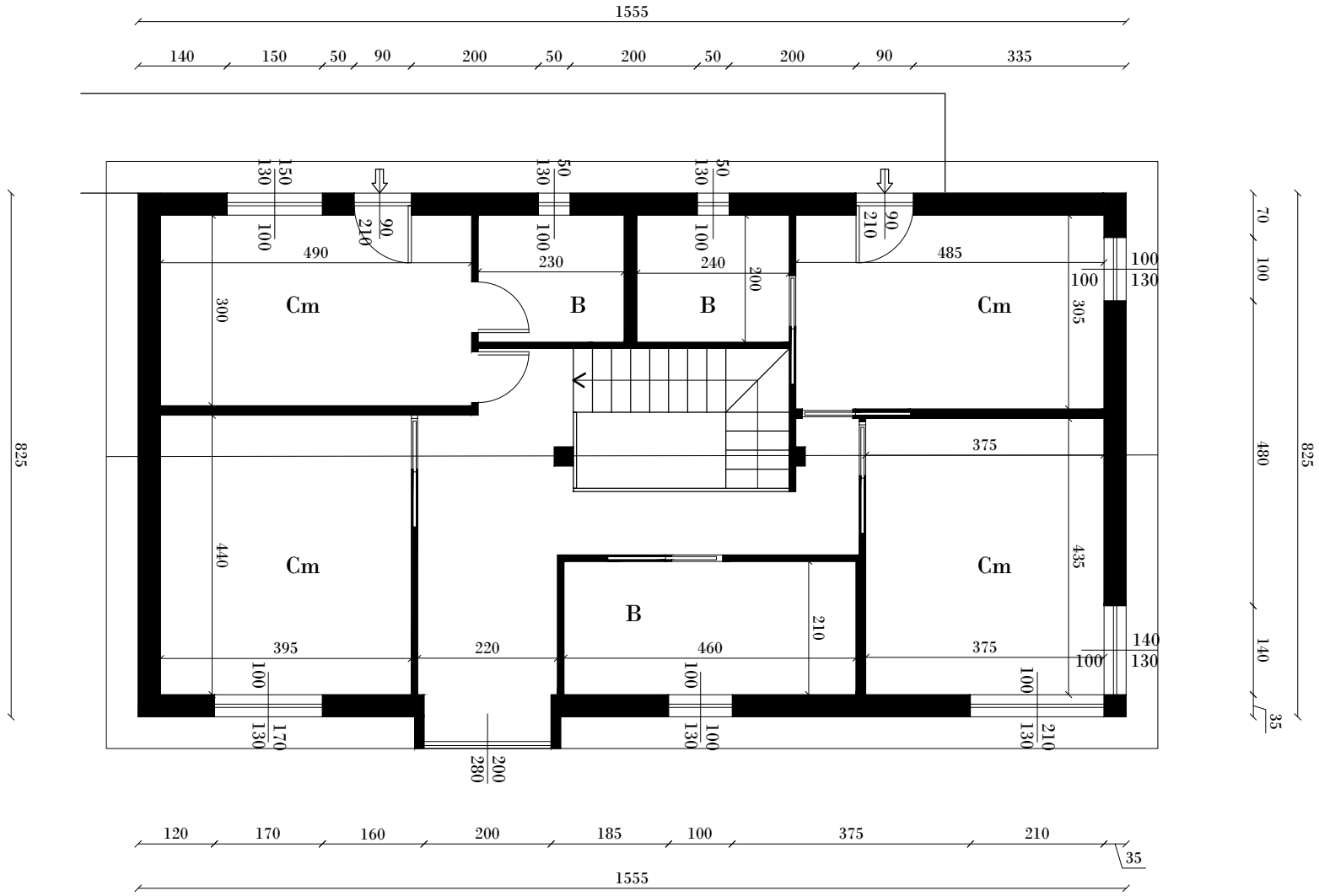
3.2.1 Analisi architettonica

planimetria p.t - scala 1.100

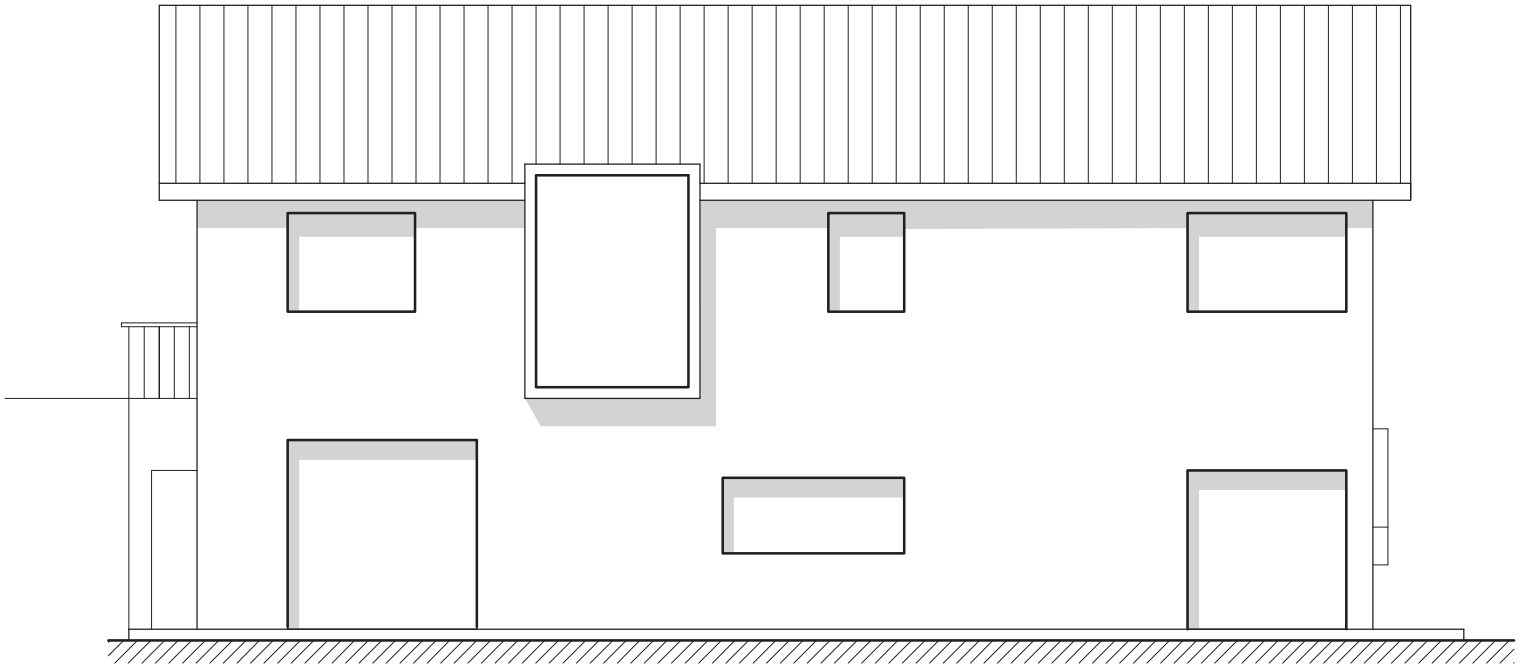


della planimetria

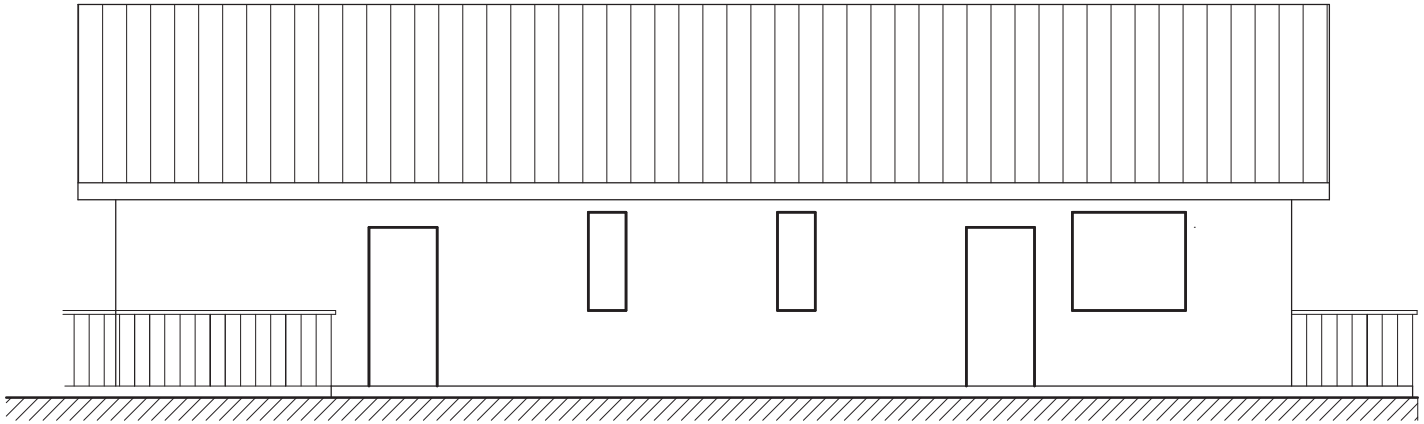
planimetria p.1 - scala 1.100



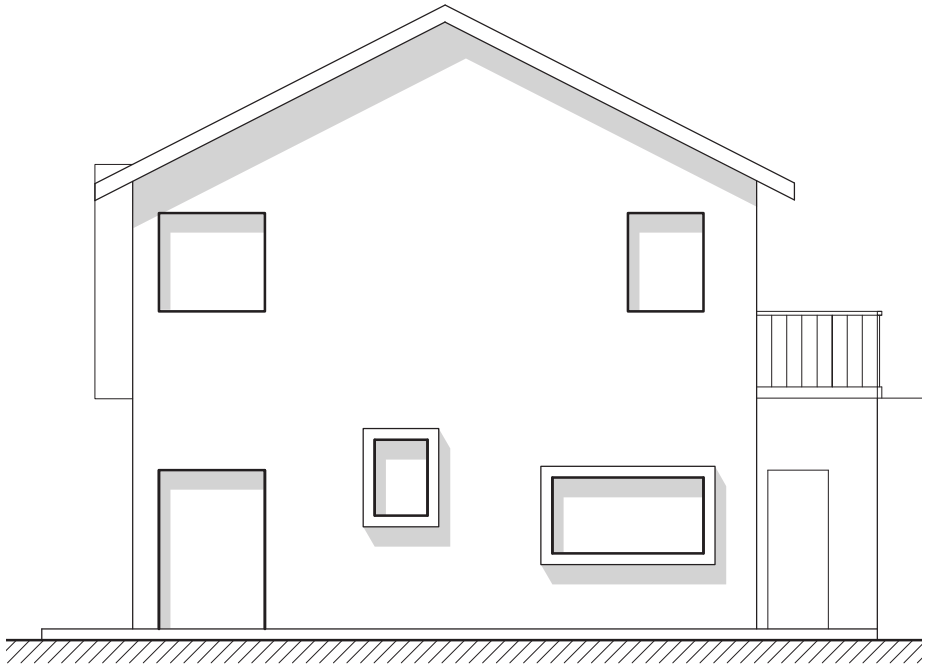
prospetto sud - scala 1.100



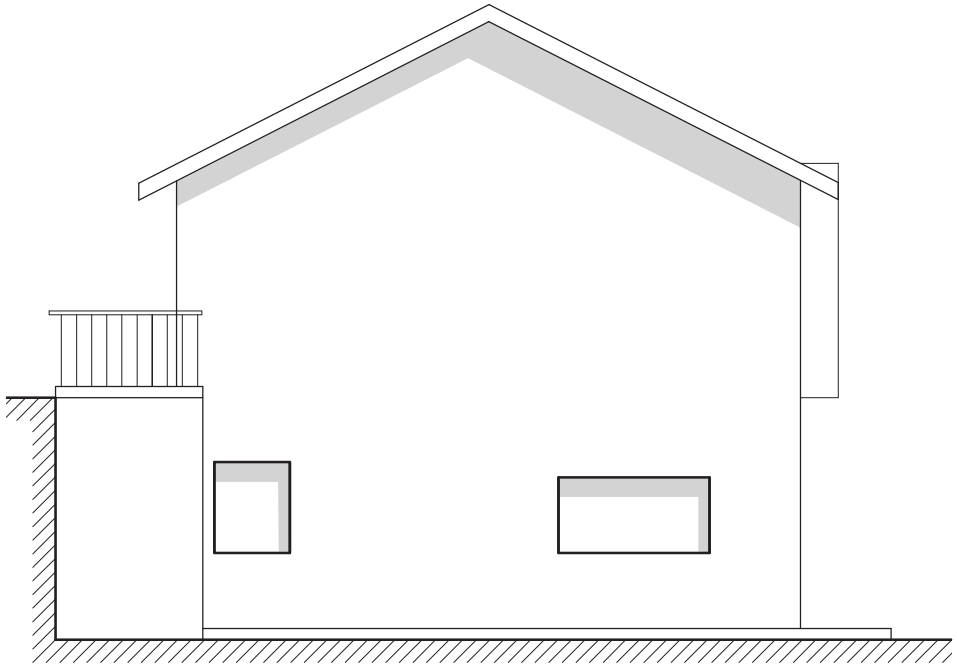
prospetto nord - scala 1.100



prospetto est - scala 1.100

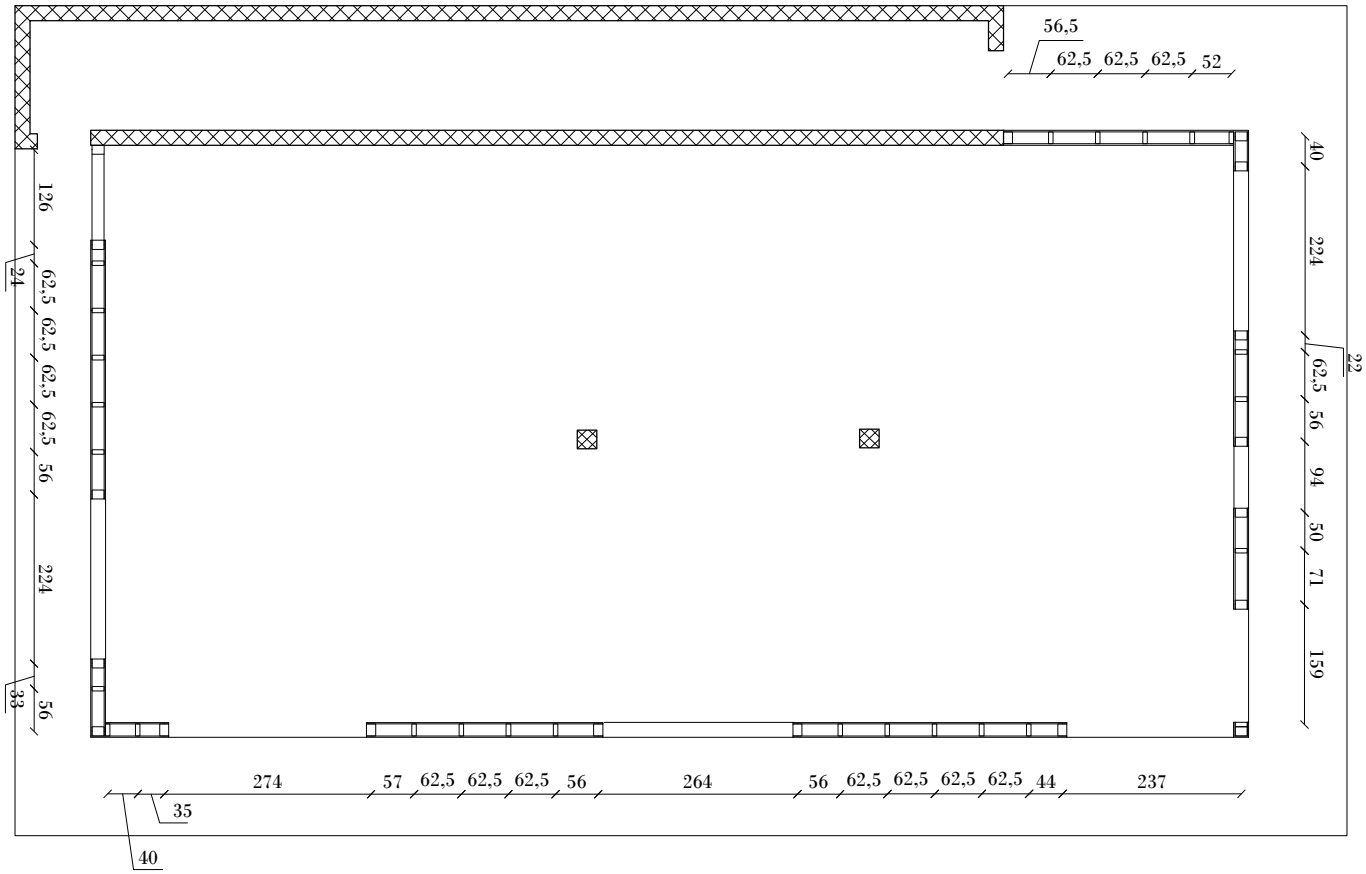


prospetto ovest - scala 1.100

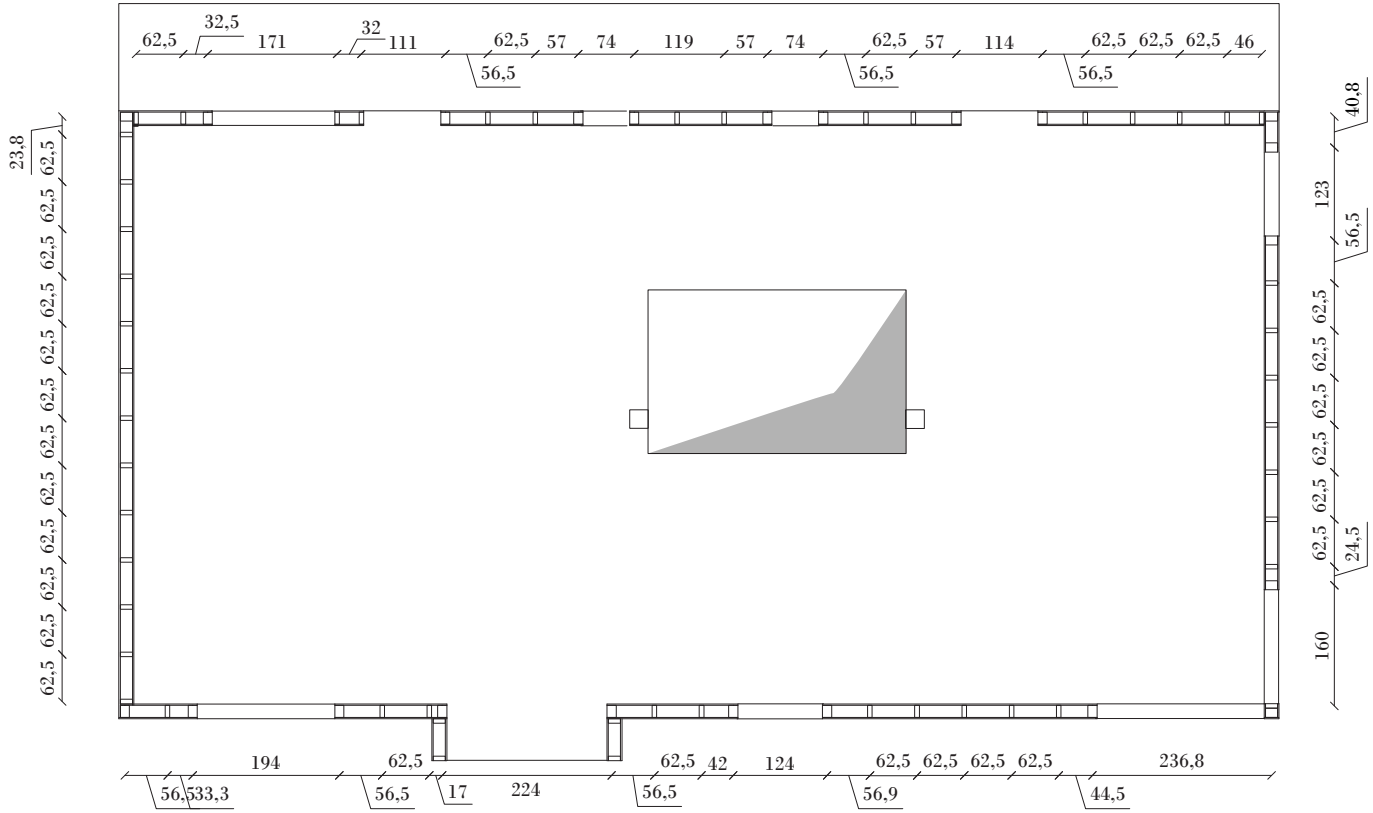


3.2.1 Analisi tecnologica: telaio e pannelli OSB

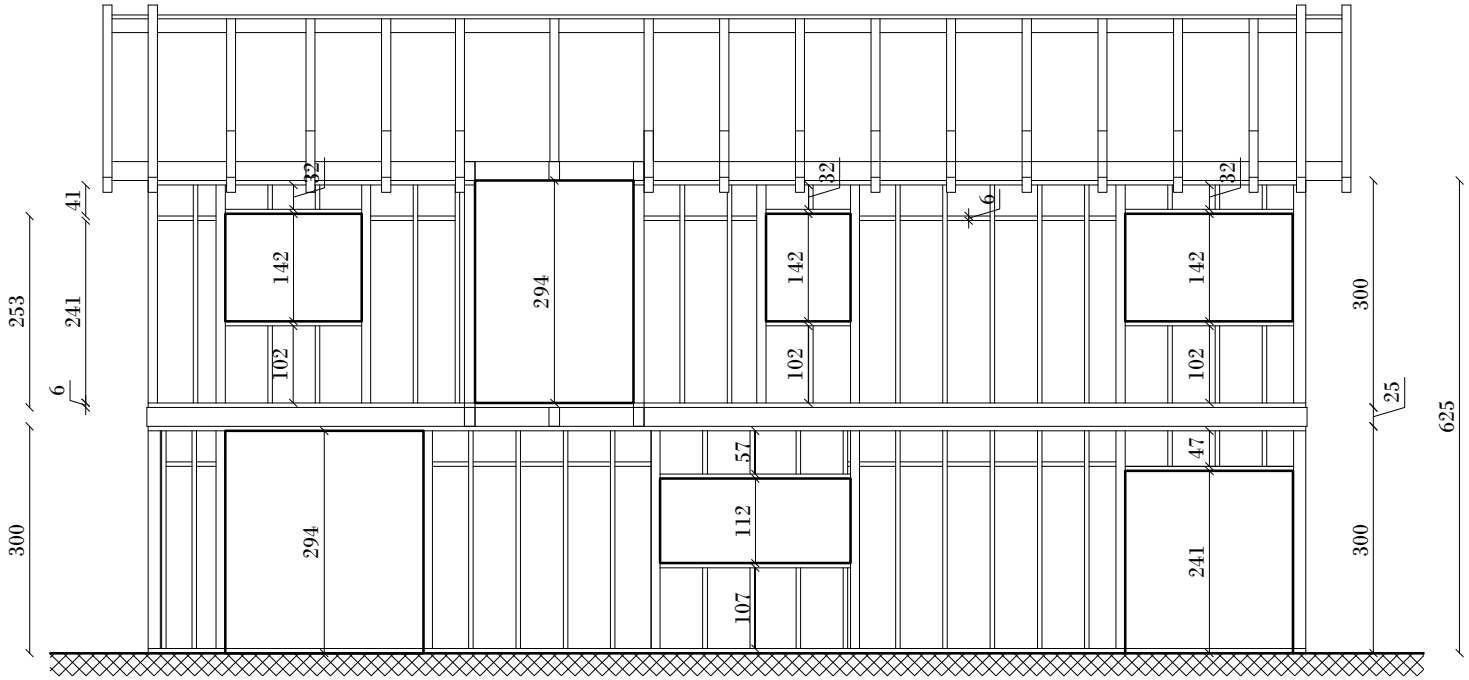
planimetria p.t - scala 1.100



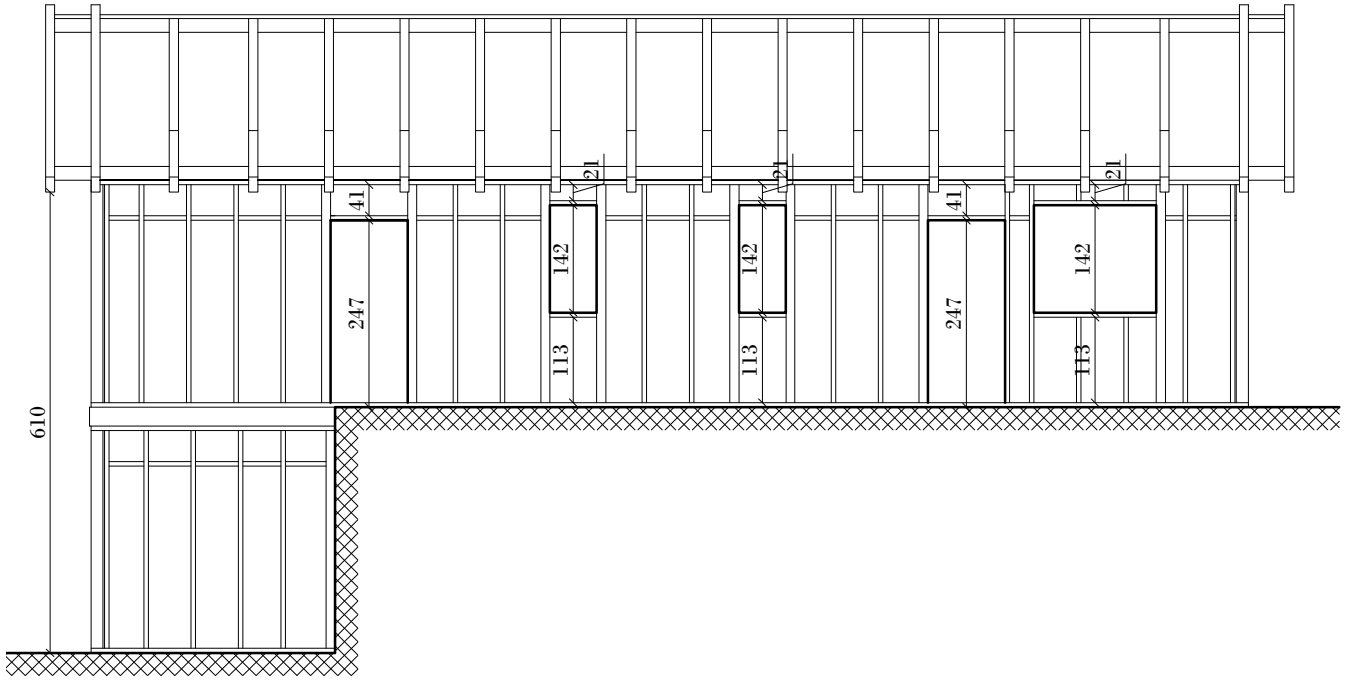
planimetria p.1° - scala 1.100



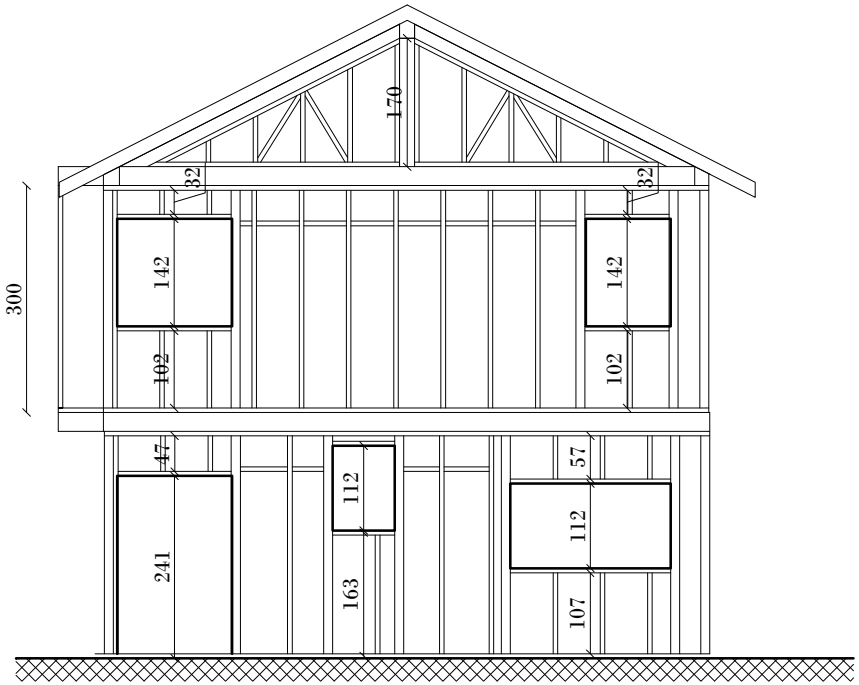
prospetto sud telaio - scala 1.100



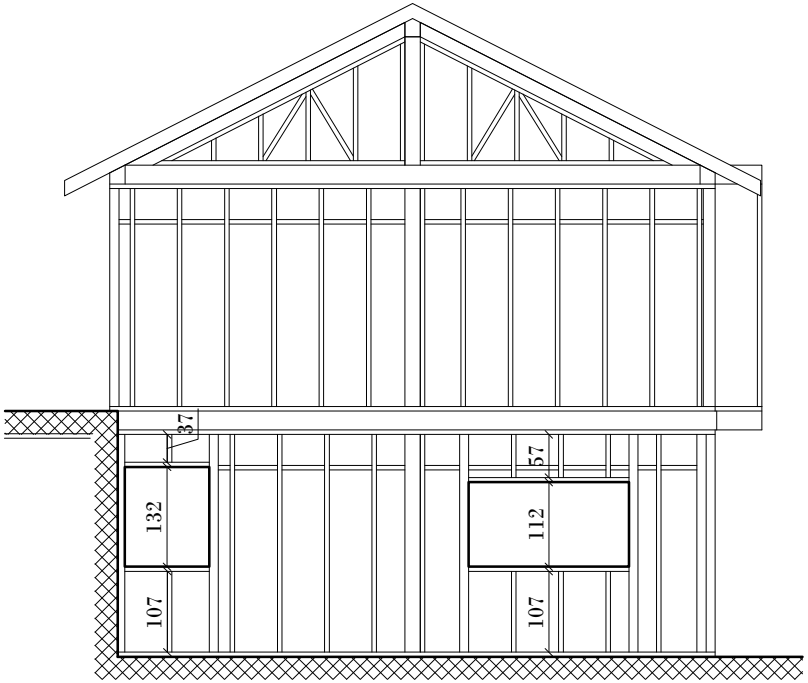
prospetto nord telaio - scala 1.100



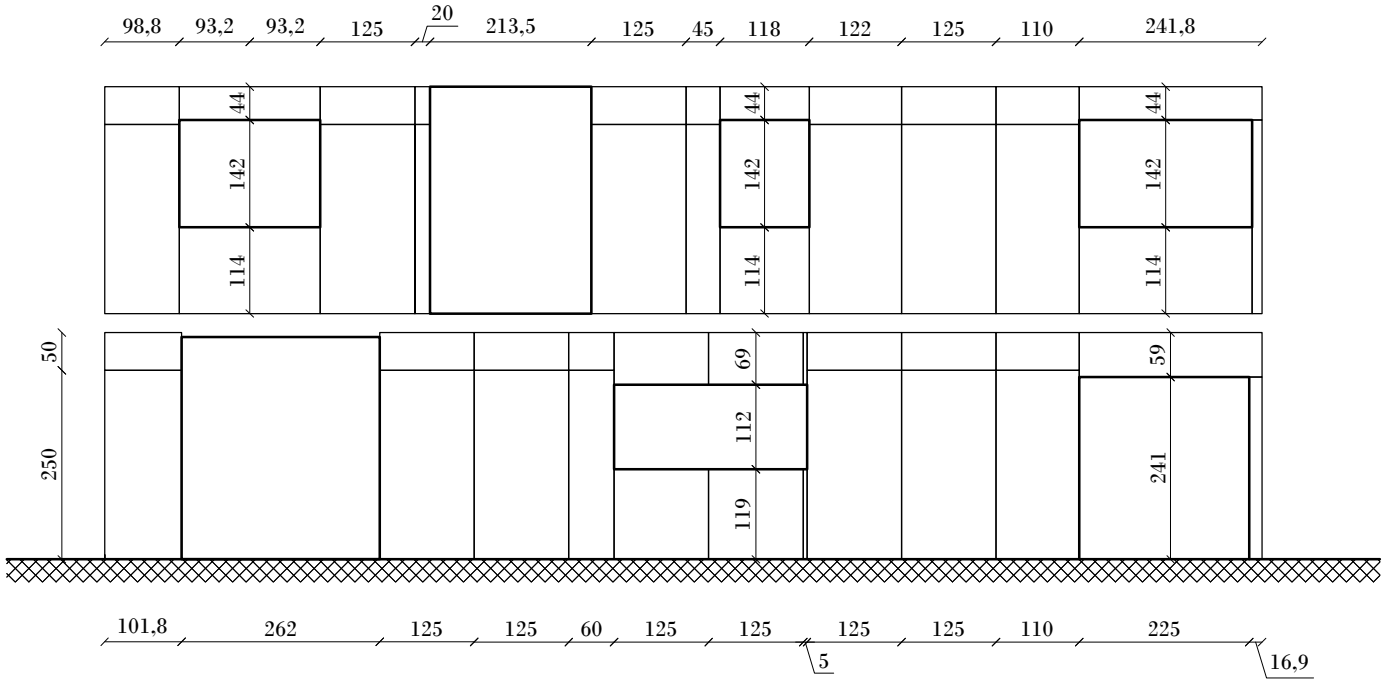
prospetto est telaio - scala 1.100



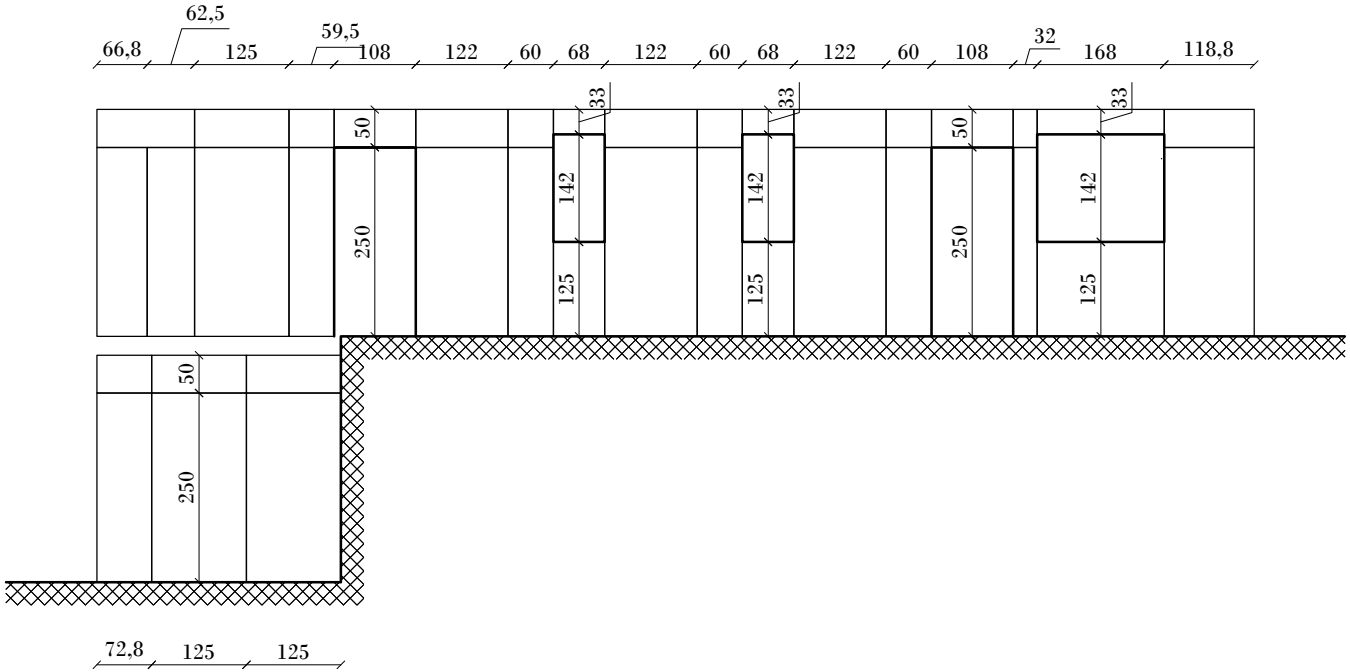
prospetto ovest telaio - scala 1.100



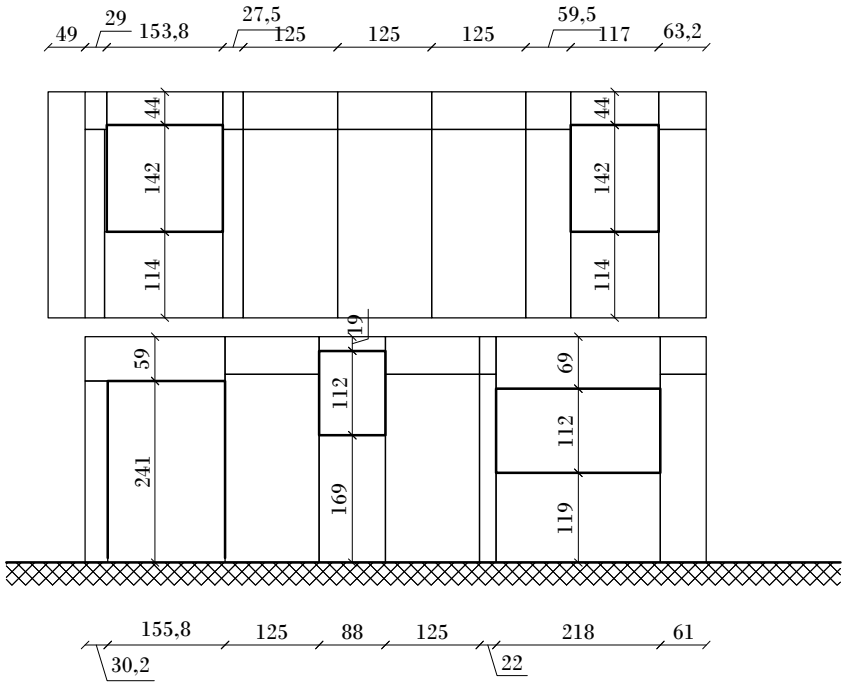
prospetto sud tamponamenti in OSB - scala 1.100



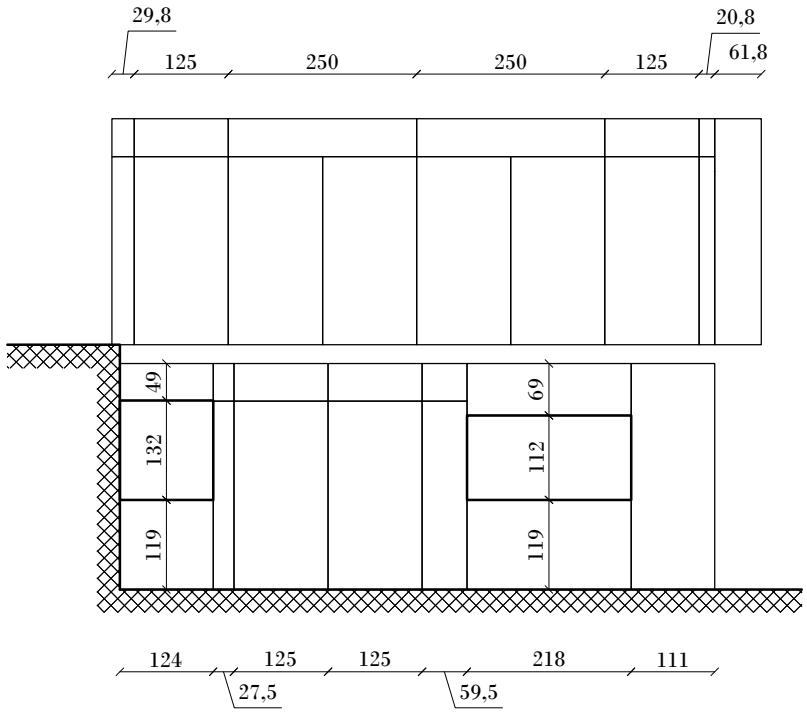
prospetto nord tamponamenti in OSB - scala 1.100



prospetto est tamponamenti in OSB - scala 1.100



prospetto ovest tamponamenti in OSB - scala 1.100



Vista dall'interno dei pannelli OSB posizionati sulla parte, p.t. caso studio, Baldissero Torinese, foto di Alessandro santi, settembre 2018

Vista dall'interno dei pannelli OSB posizionati sulla parte, p.1. caso studio, Baldissero Torinese, foto di Alessandro santi, settembre 2018

Vista dall'esterno del caso studio, Baldissero Torinese, foto di Alessandro santi, settembre 2018

3.3 Il coordinamento modulare del caso studio

Il percorso di tesi maturato fino a questo punto ha permesso di elaborare uno strumeto progettuale finalizzato alla progettazione modulare del sistema coostruttivo intelaiato leggero. L'ispirazione deriva dai metodi analizzati durante le ricerche condotte all'interno del percorso teorico. Tali ricerche, sul coordinamento modulare di G.Ciribini, e sui progetti nati dalla collaborazione tra Wachsmann e Gropius hanno reso possibile l'applicazione delle nozioni teoriche per lo sviluppo di un modello modulare da applicare al sistema costruttivo *platform-frame*.

Il modello modulare sviluppato nel capitolo 2 di questa tesi trova applicazione all'interno del caso studio esistente oggeto di analisi nel capitolo 3.2. L'obbiettivo di questa applicazione è quello di testare le possibilità progettuali e analizzare le possibili criticità.

L'applicazione della griglia modualre a maglia quadrata avviene in due principali fasi: *adattamento del telaio e posizionamento di pannelli modulari*.

- *1 Adattamento del telaio alla griglia modulare.*

In questa fase le planimetrie tecnologiche - rappresentanti la distribuzione del telaio del piano terra e del piano primo - sono l'oggetto necessario per lo sviluppo del coordinamento modulare. Le operazioni necessarie sono quindi; la scelta di un *angolo dell'involucro* di partenza, il *disegno della maglia quadrata* 62,5 cm (59,5 per il primo modulo) il *posizionamento dei montanti* lungo le linee guida e la *predisposizione delle aperture* all'interno della maglia modulare il più possibile vicino al progetto esistente. Questa fase va adoperata per entrambi i piani assicurando che il loro perimetri combacino perfettamente.

A seguito di queste preliminari operazioni si proseguirà con il ridisegno dei prospetti che rappresentano al struttra del telaio, insieme a questa fase si provvederà al disegno delle traverse - ad altezza modulare - utili al posizionamento delle aperture.

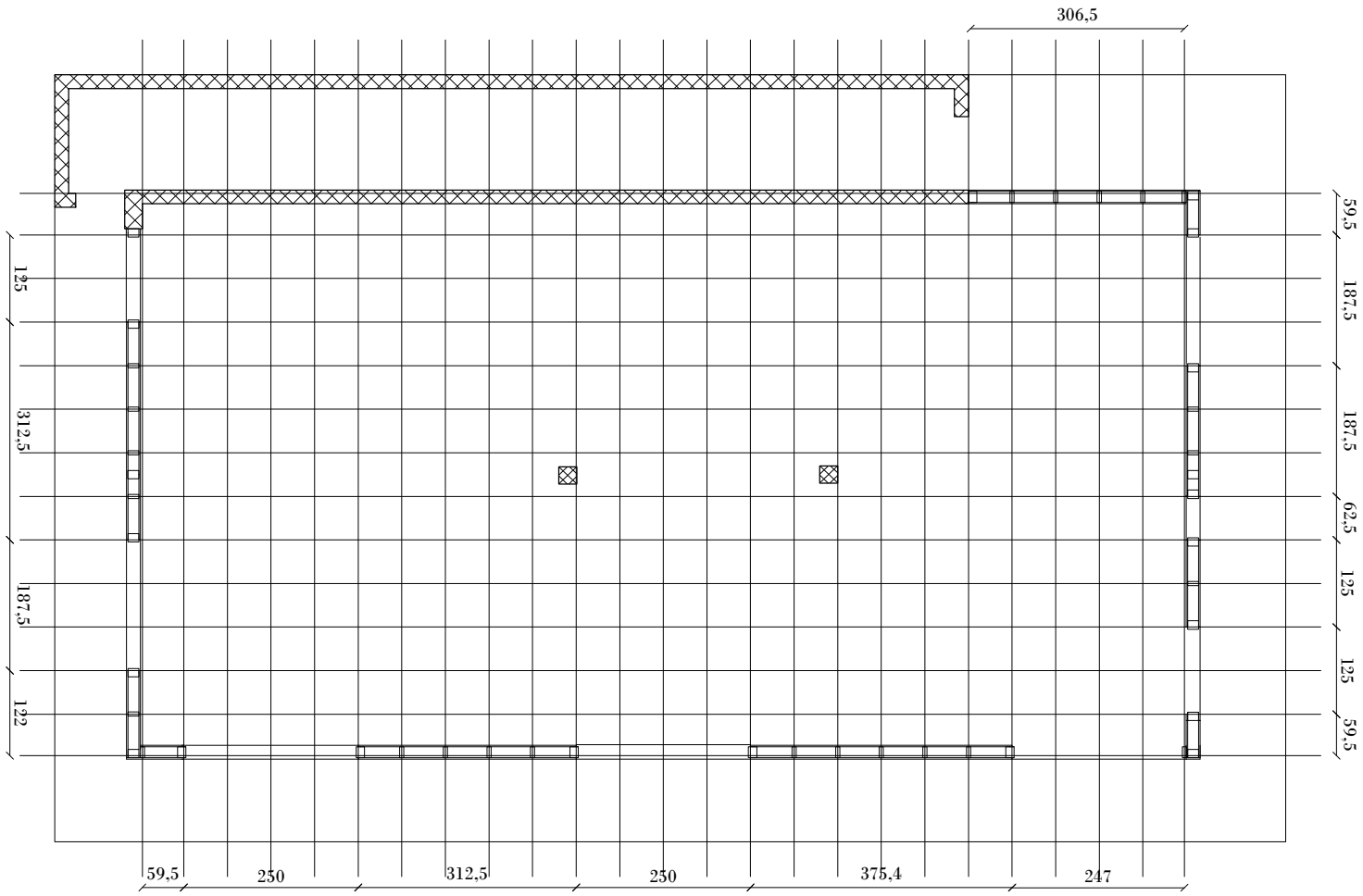
- *2 Posizionamento dei pannelli OSB di tamponamento modulari*

Una volta concluse le operazioni di ridisegno del telaio modulare si procederà con la disposizione degli elementi modulari al di sopra del telaio.
In questa fase verrano scelte le componenti modulari utili al completamento del tamponamento, predisponendo ove possibile gli elementi più grandi al fine di coprire più montanti possibili con un unico elemento.

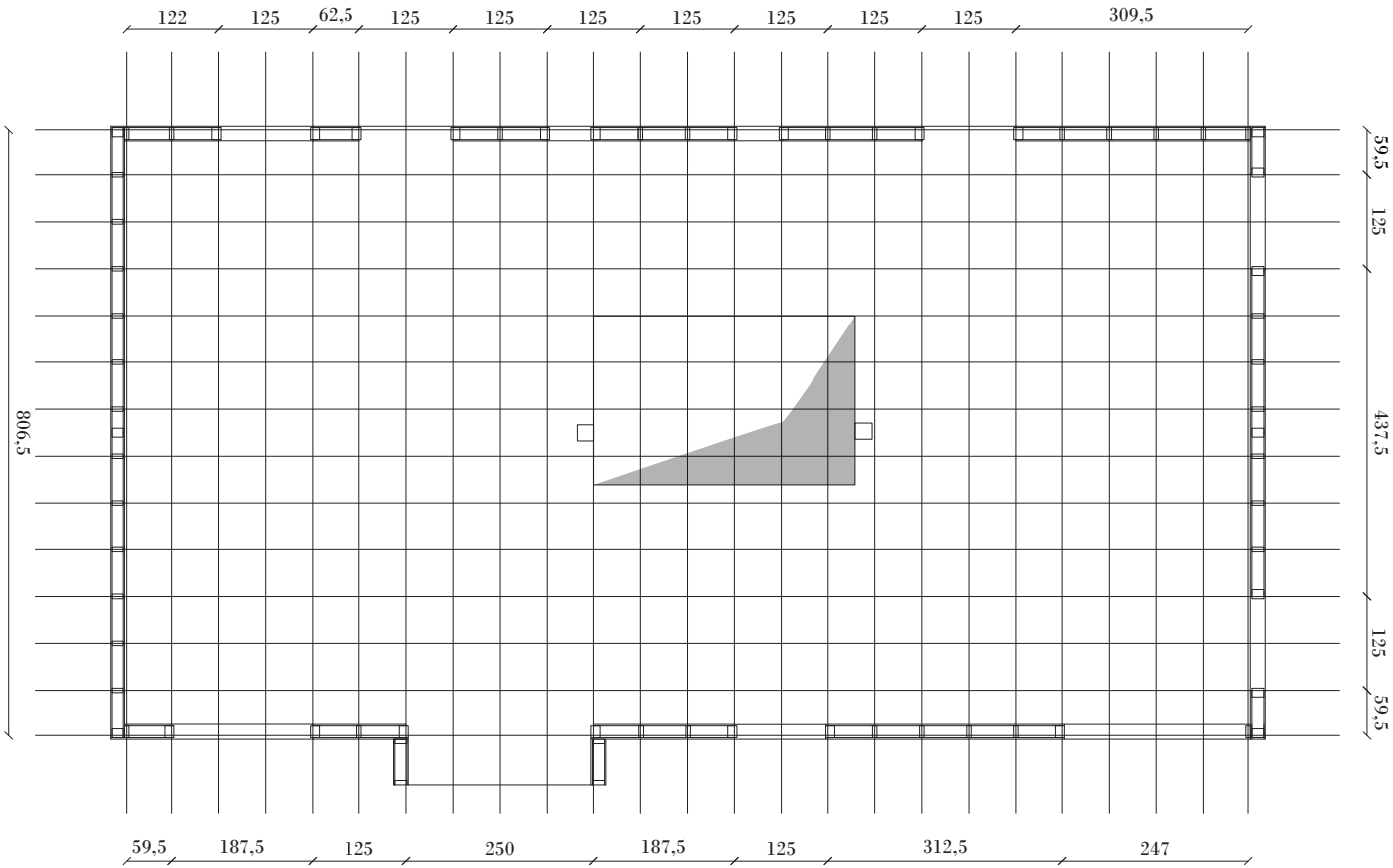
A seguito delle fasi che definiscono le dimensioni del telaio strutturale, si procederà al disegno architettonico dell'intero progetto, considerando quelle che sono le stratigrafie previste dal precedente progetto.
La fase finale prevede il ridisegno delle partizioni interne, a tale scopo si dovranno scegliere come punti di partenza le zone interessate da una stretta relazione tra funzioni e componenti strutturali che caratterizzavano il progetto precedente. L'obbiettivo di questa ultima fase è quello di riproporre le dimensioni degli spazi abitativi il più possibile vicine a quelle del progetto non modulare.

3.3.1 L'adattamento del telaio alla griglia

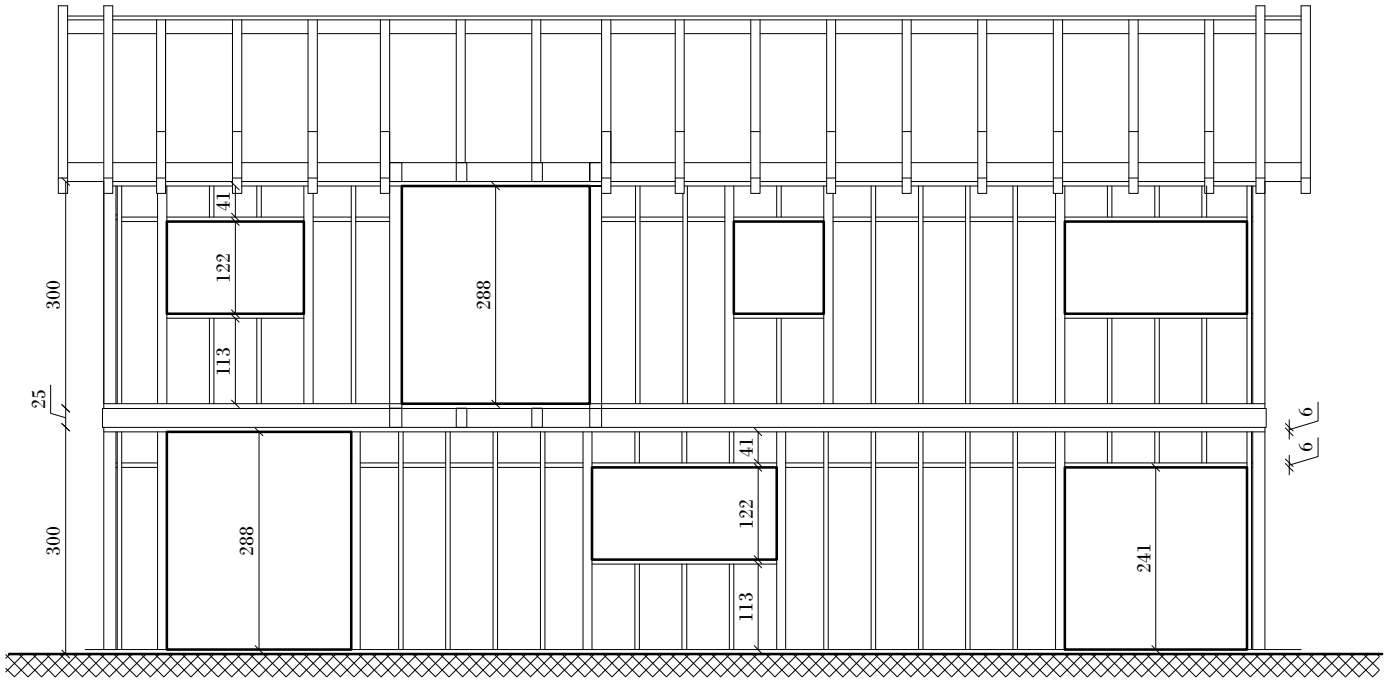
planimetria telaio p.t. - scala 1.100



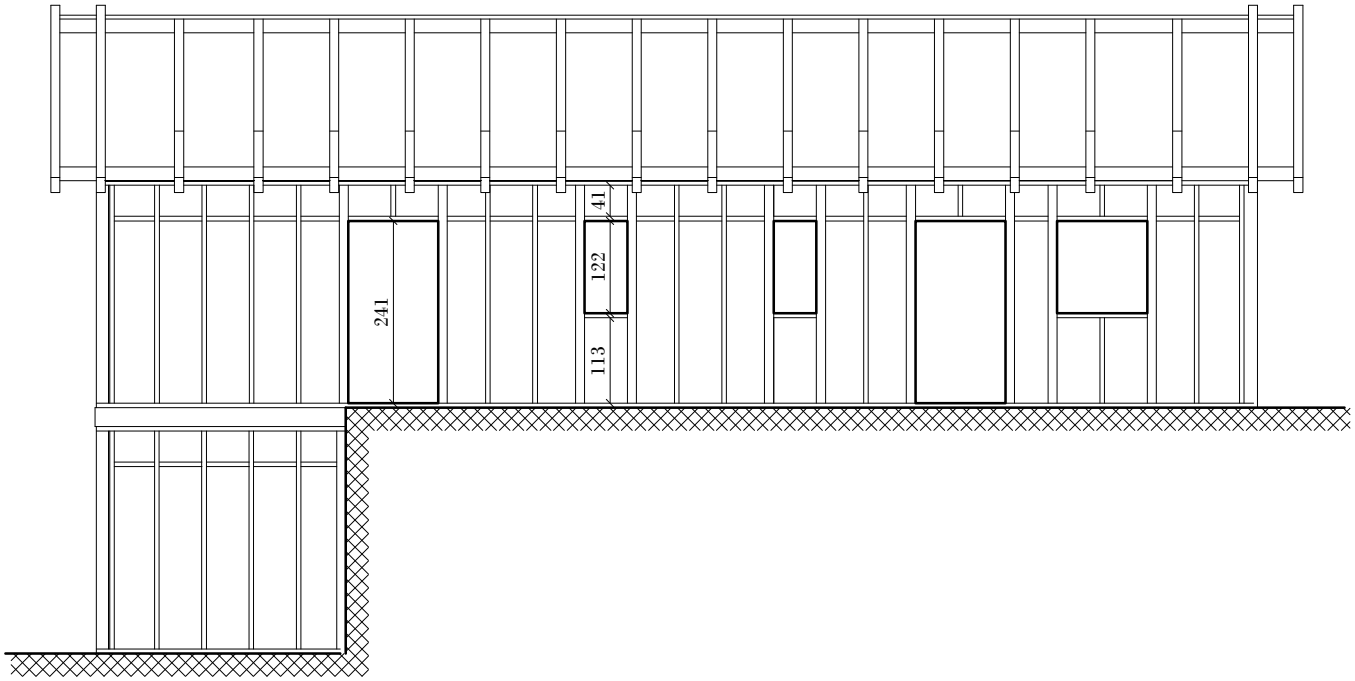
planimetria telaio p.1°. - scala 1.100



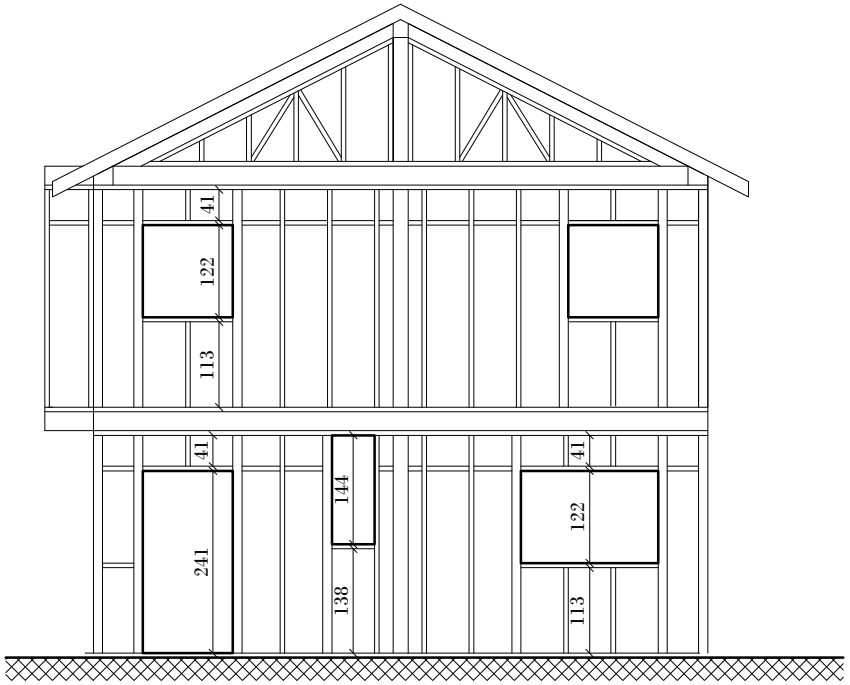
prospetto sud telaio modulare - scala 1.100



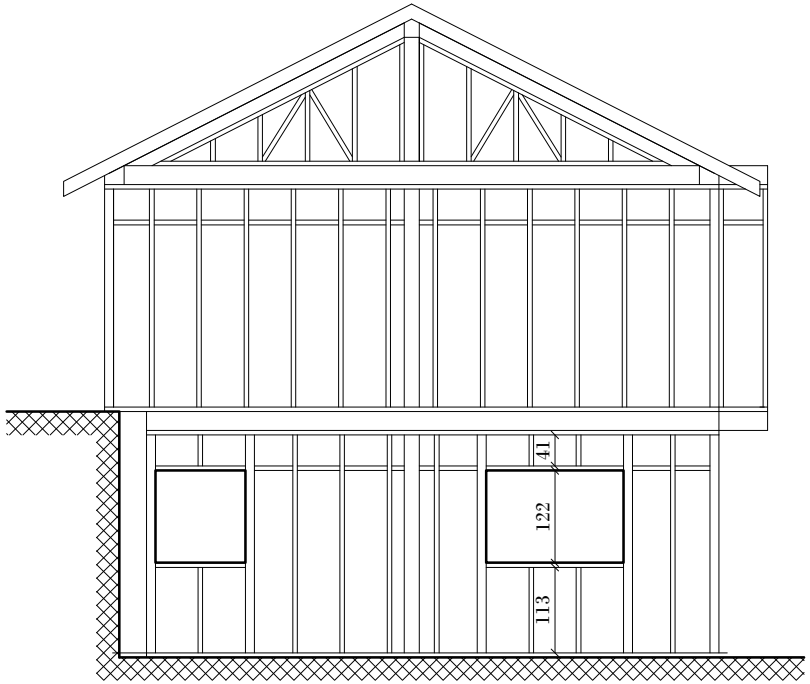
prospetto nord telaio modulare - scala 1.100



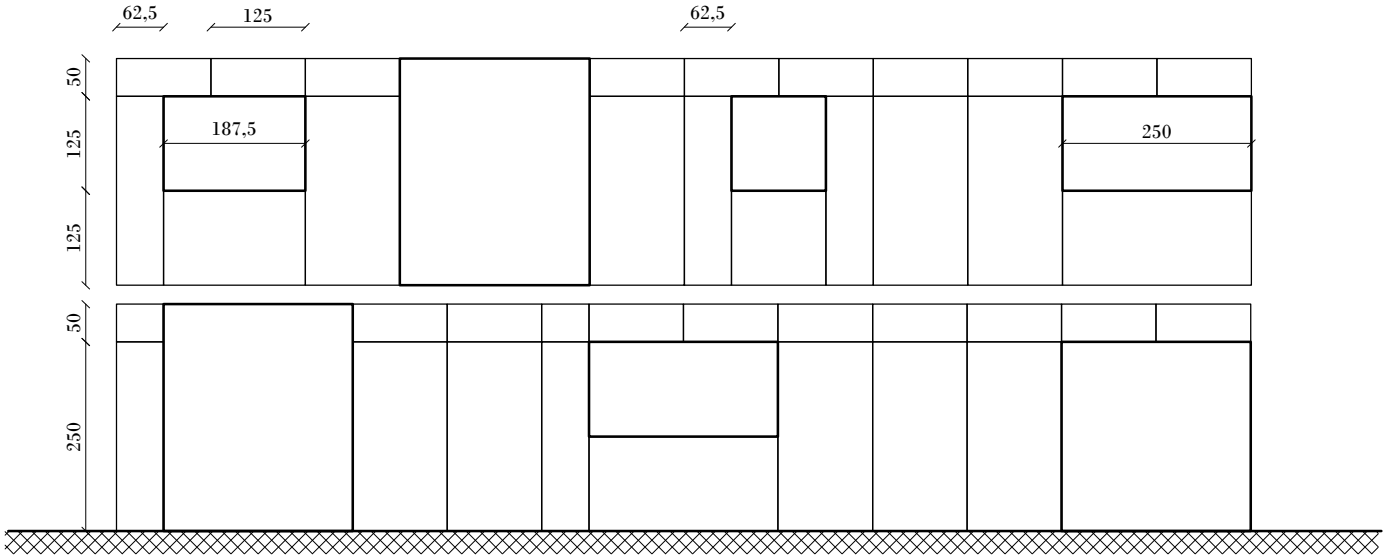
Prospetto est telaio modulare - scala 1.100



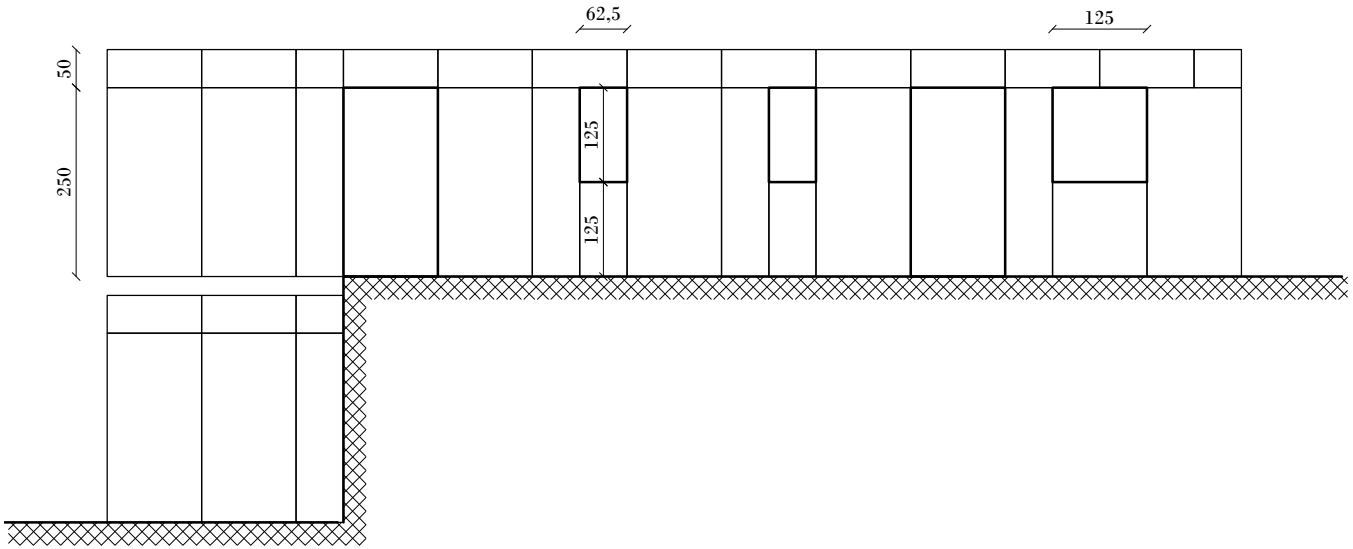
Prospetto ovest telaio modulare - scala 1.100



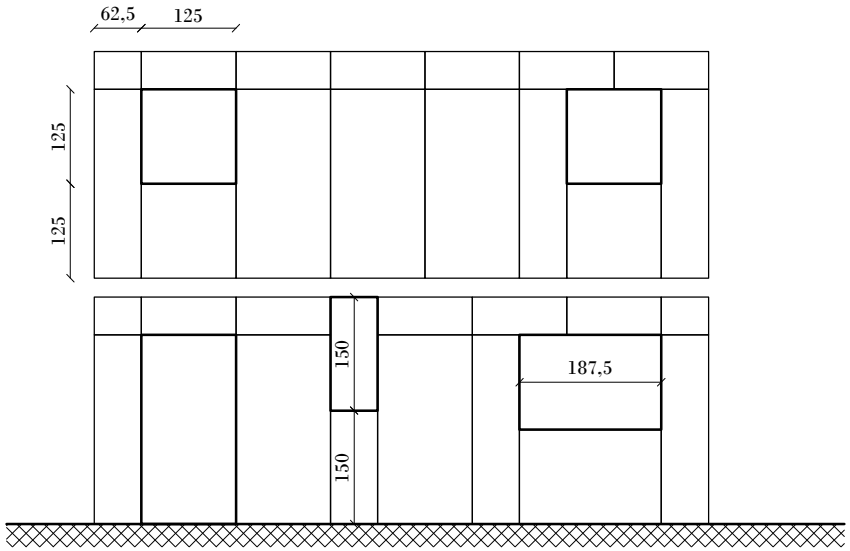
3.3.2 Il posizionamento dei pannelli in OSB modulari



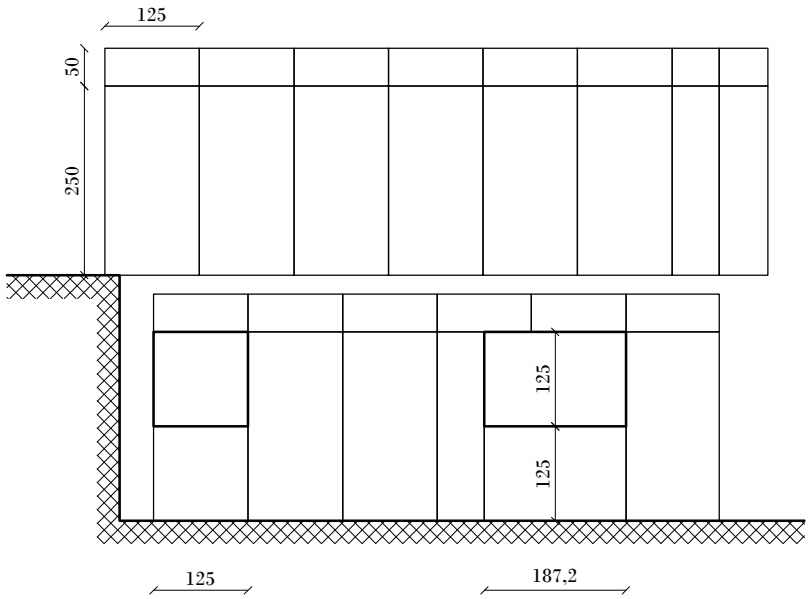
prospetto sud pannelli modulari in OSB - scala 1.100



prospetto est modulare in OSB - scala 1.100

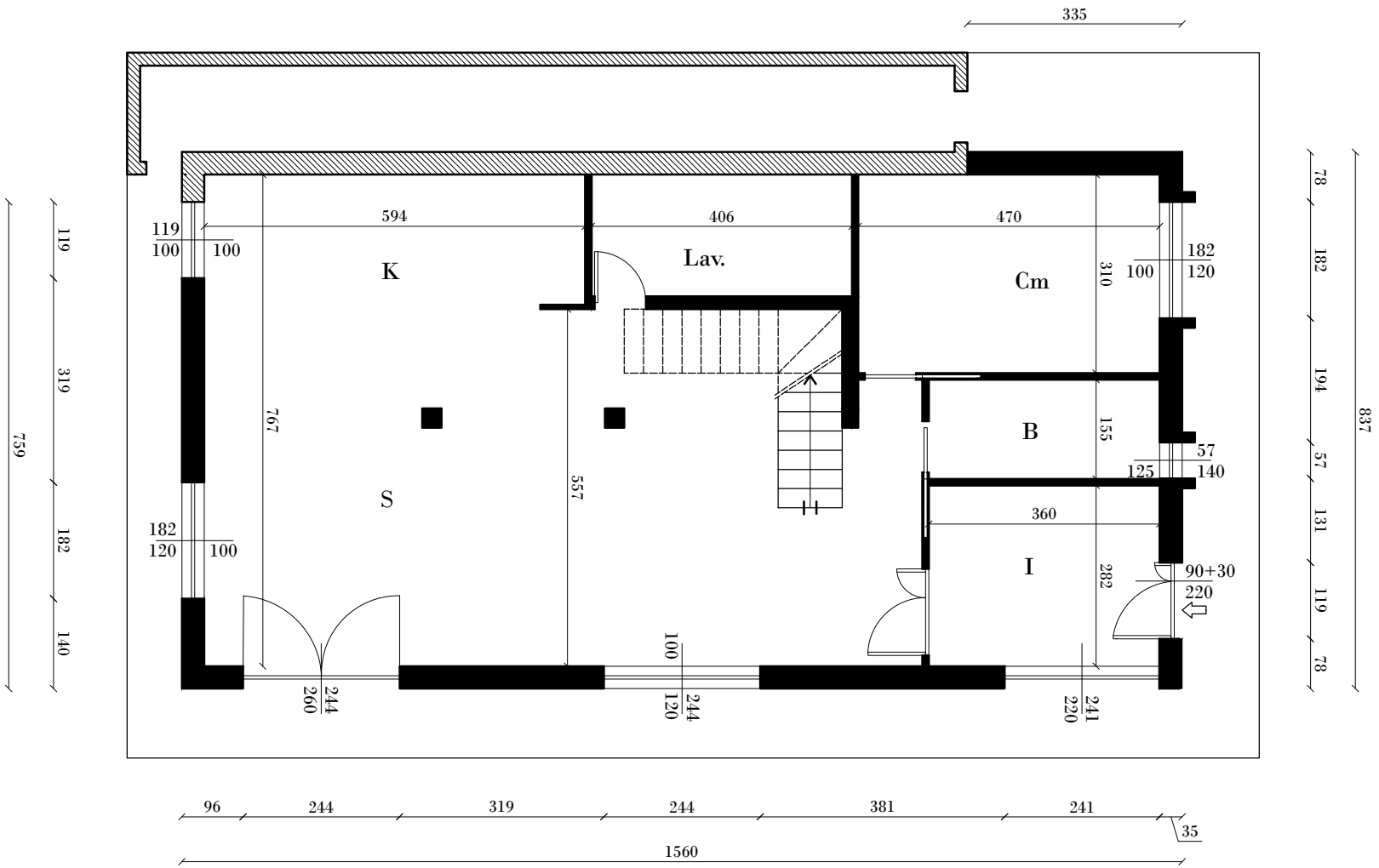


prospetto ovest modulare in OSB - scala 1.100

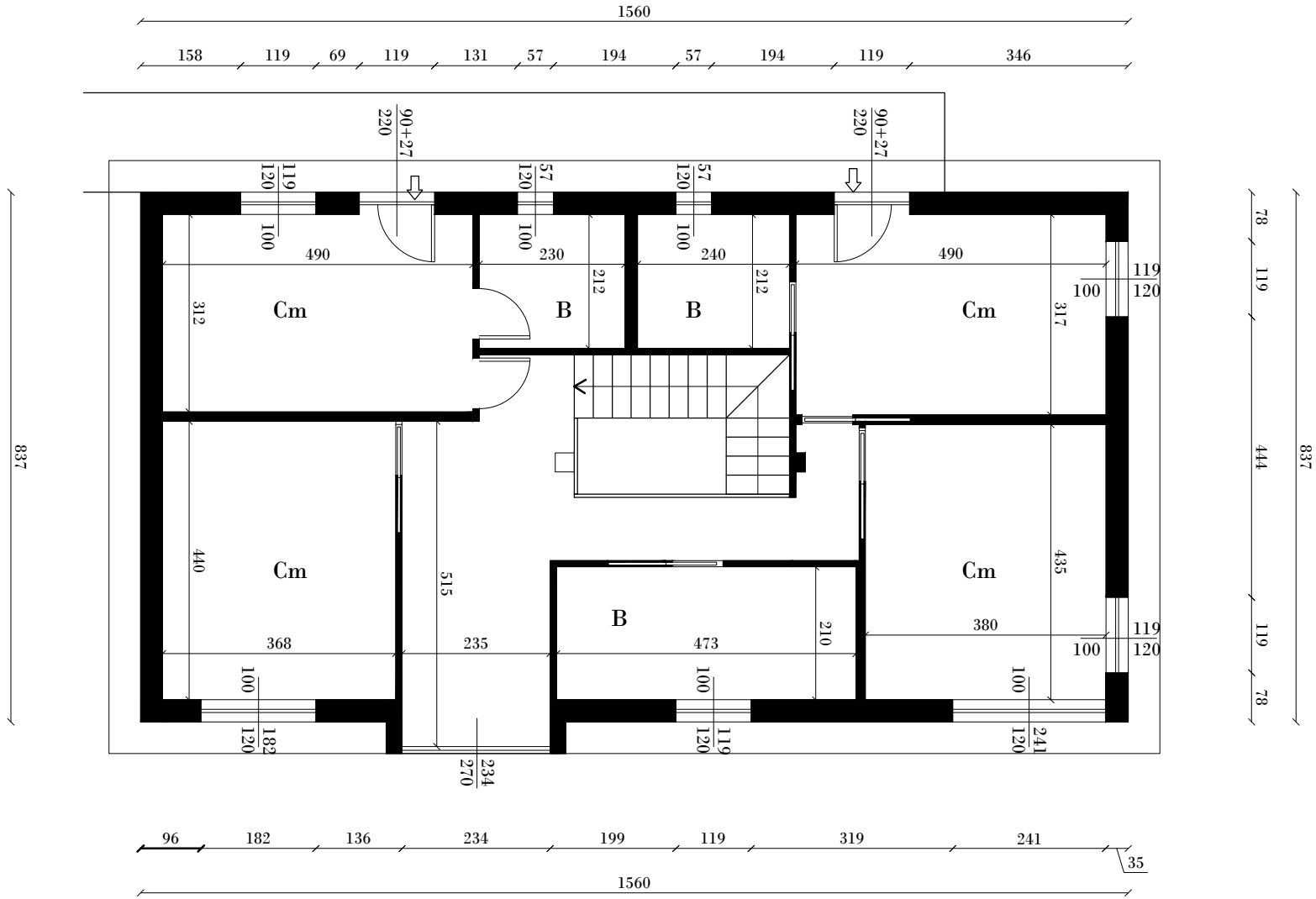


3.3.3 Il disegno architettonico dopo il coordinamento

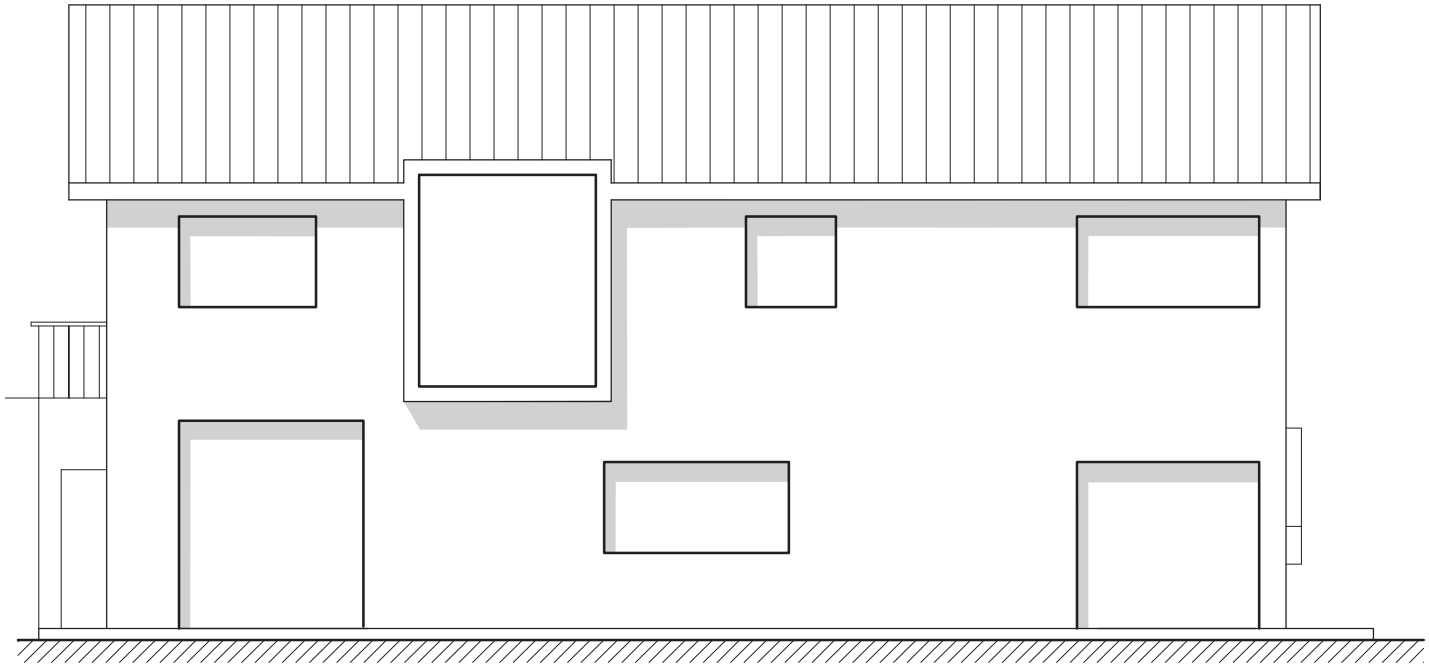
planimetria p.t. - scala 1.100



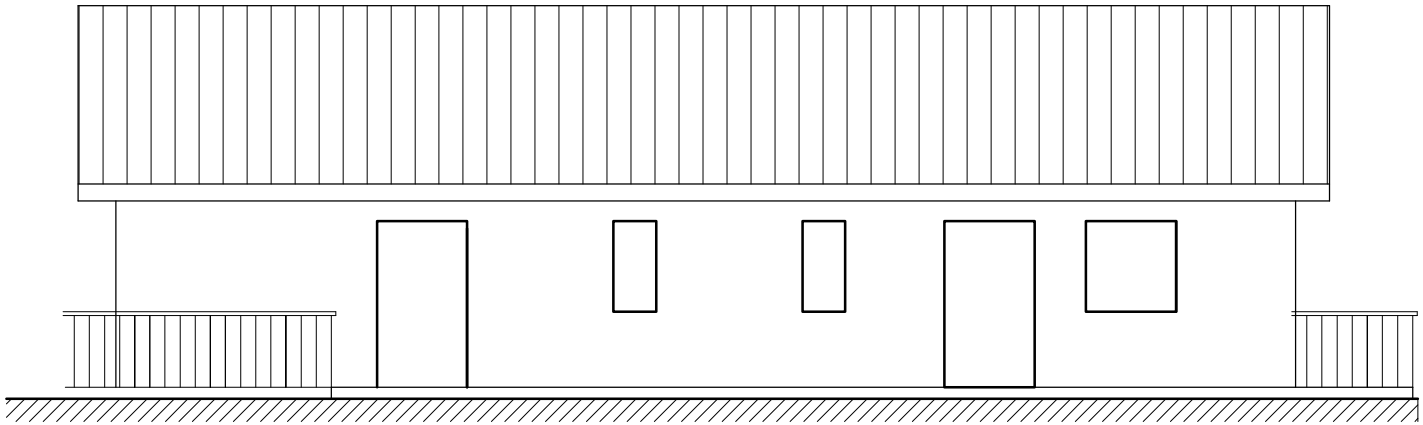
planimetria p.1. - scala 1.100



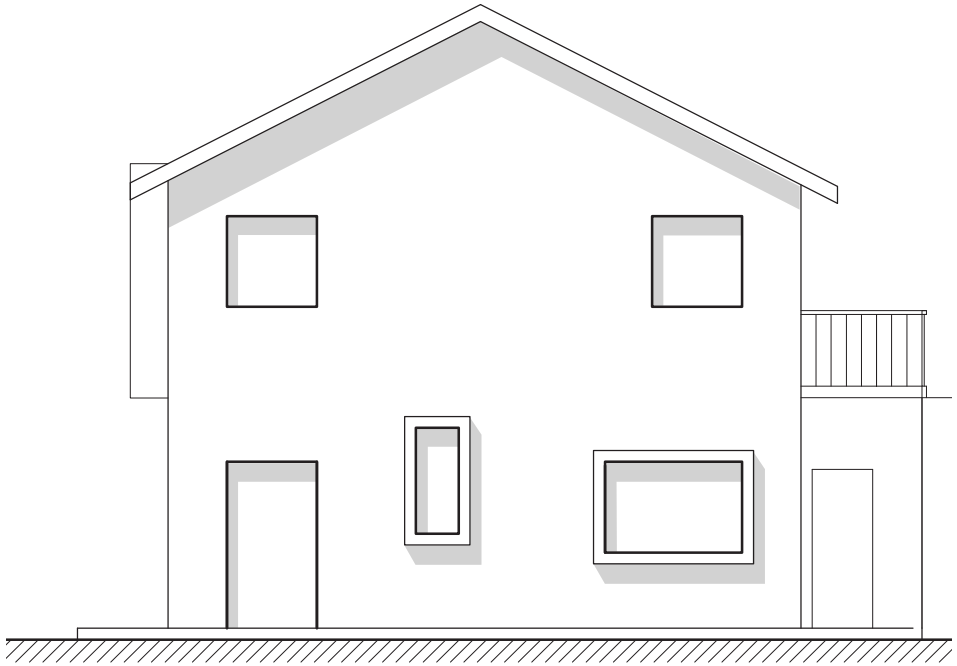
prospetto sud - scala 1.100



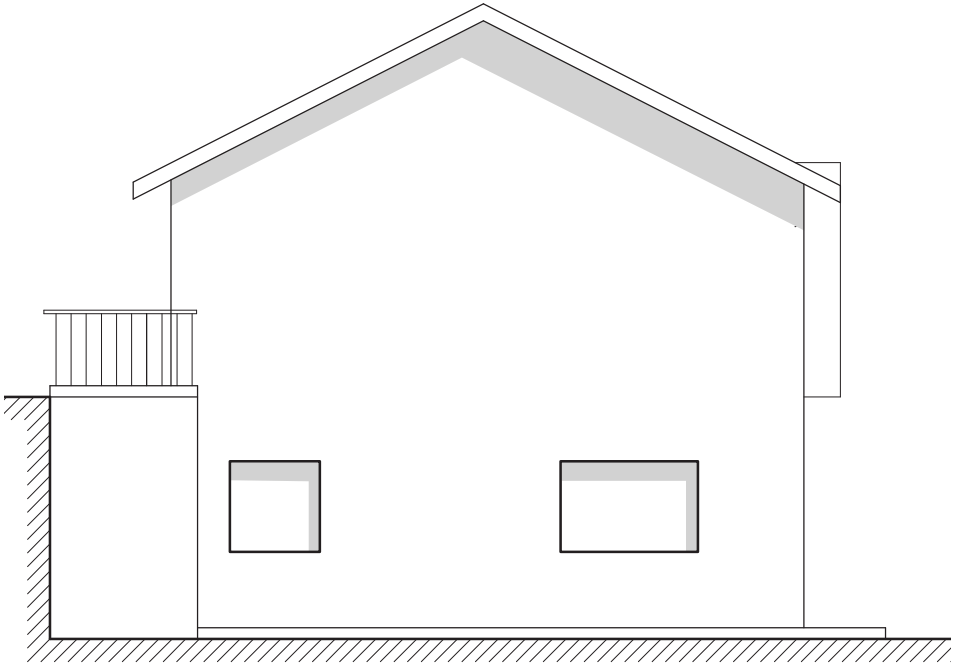
prospetto nord - scala 1.100



prospetto est - scala 1.100

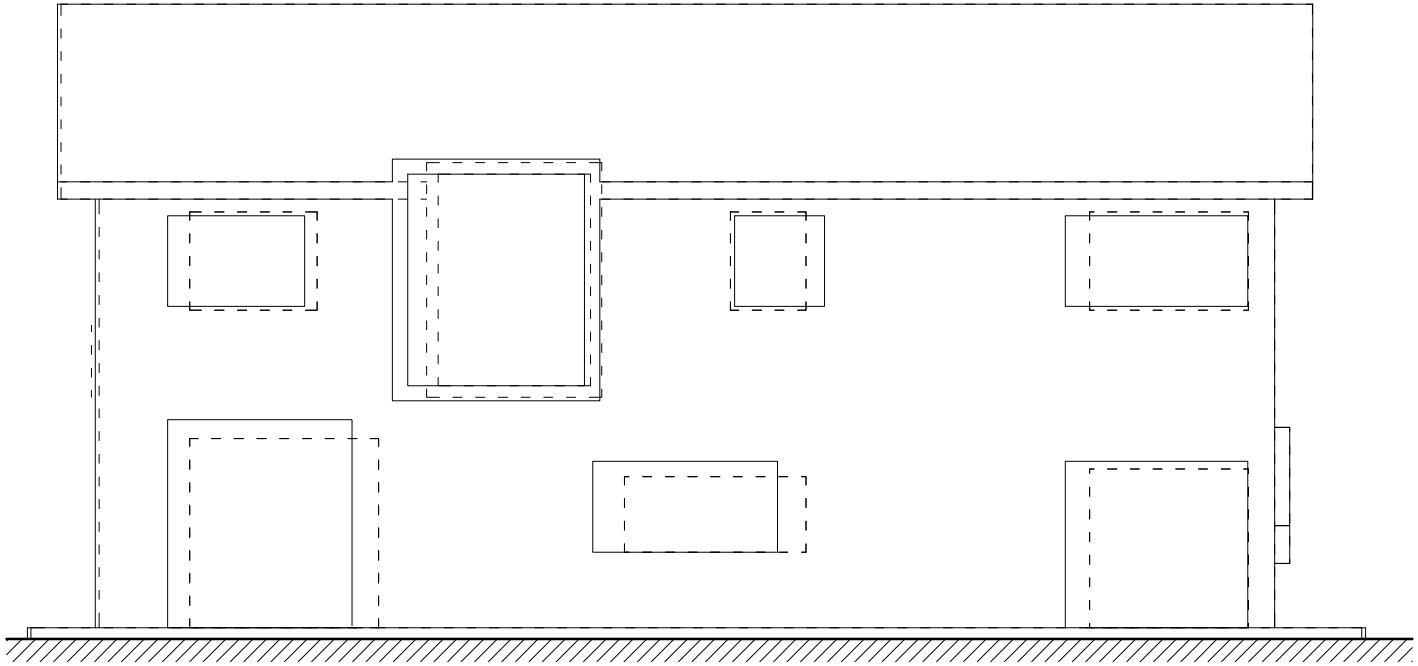


prospetto ovest - scala 1.100



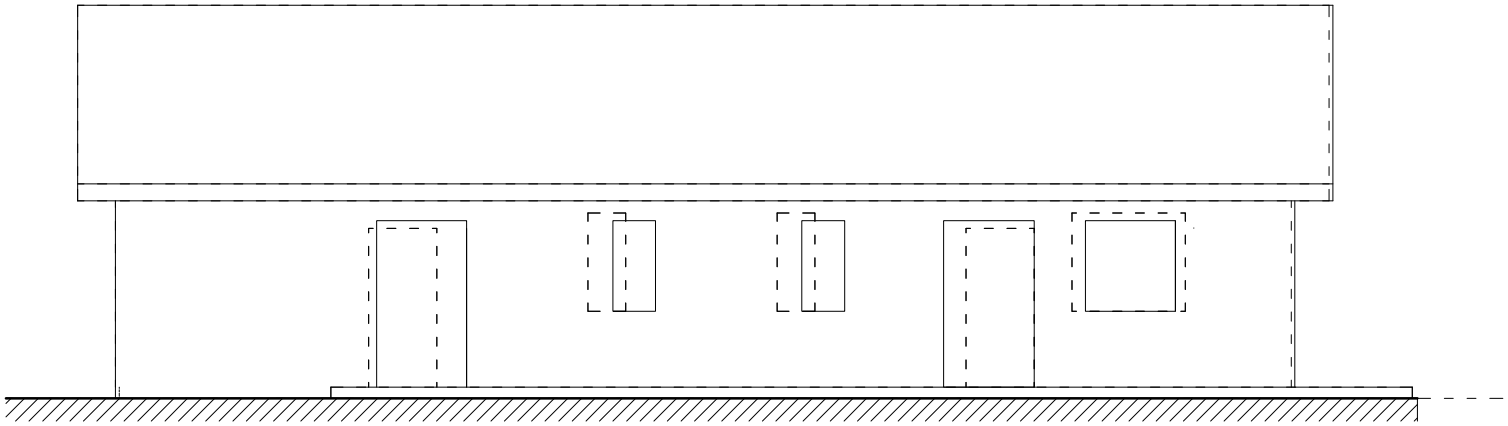
3.4 La comparazione architettonica prima e dopo il coordinamento

sovrapposizioni prospetti sud - scala 1.100



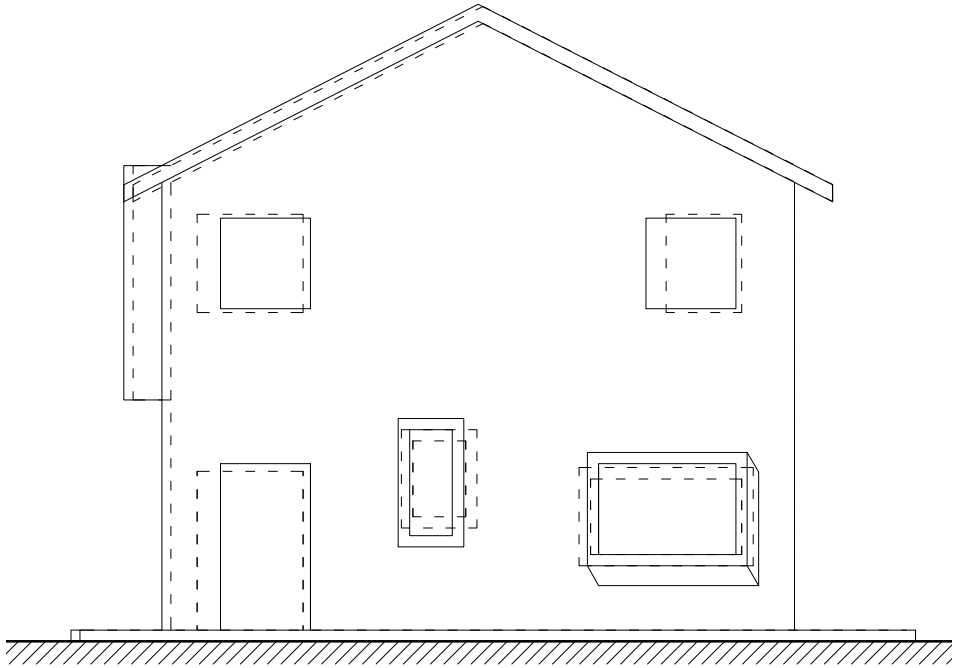
progetto modulare —— progetto non modulare - - -

sovrapposizioni prospetti nord - scala 1.100



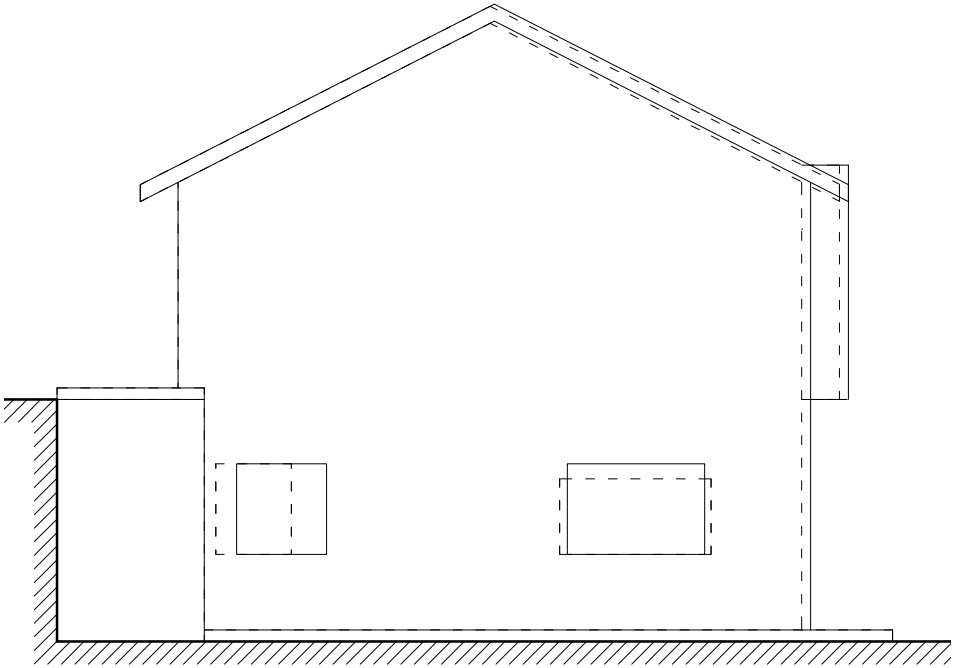
progetto modulare —— progetto non modulare - - -

Sovrapposizione prospetto est - scala 1.100



progetto modulare —— progetto non modulare - - -

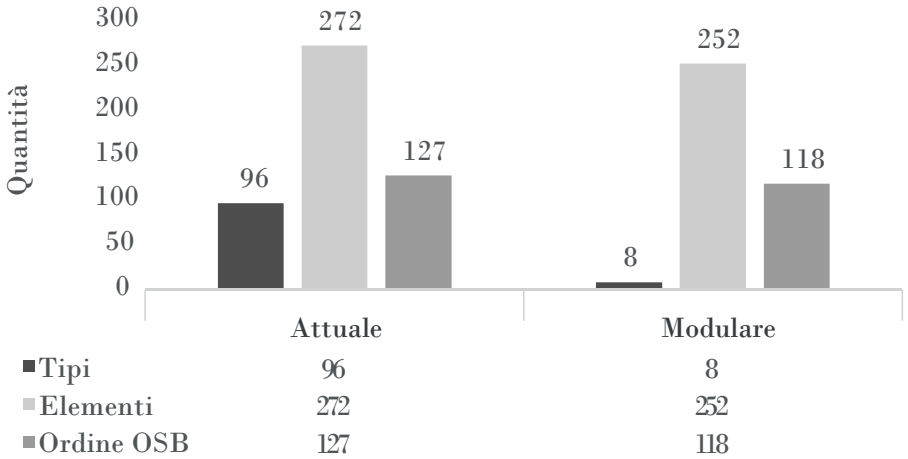
sovrapposizione prospetto ovest - scala 1.100



progetto modulare —— progetto non modulare - - -

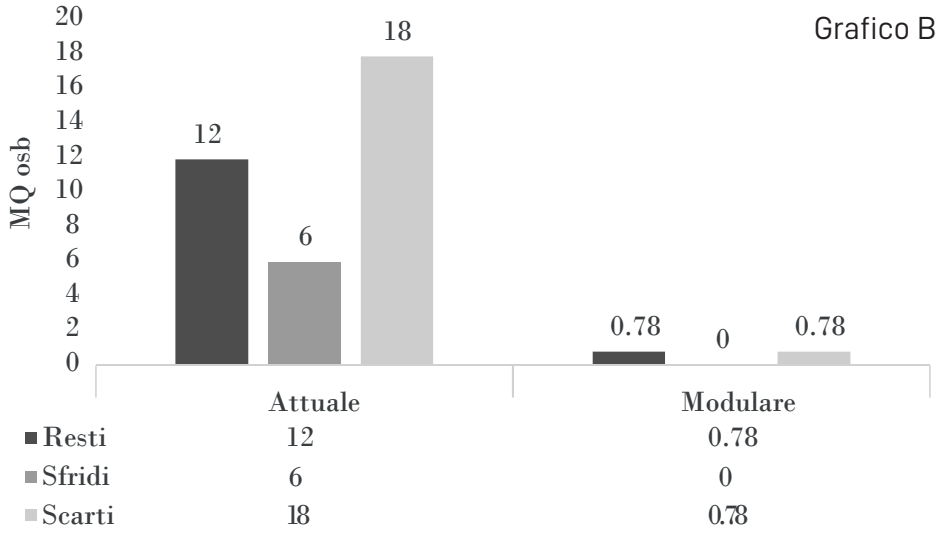
3.5 L'analisi dei dati per la produzione delle pareti a telaio

Grafico A



Confronto quantitativo su tipi, elementi e ordini n ecessari

Grafico B



Comparazione di scarti, sfridi e resti

Il grafico soprastante (A) vuole mostrare le differenze quantitative dei pannelli in OSB necessari per la realizzazione del tamponamento nel caso oggetto di studio (B&B a Baldissero Torinese).
La classificazione viene effettua suddividendo le quantità nell'ordine dei *tipi, elementi e ordini*.

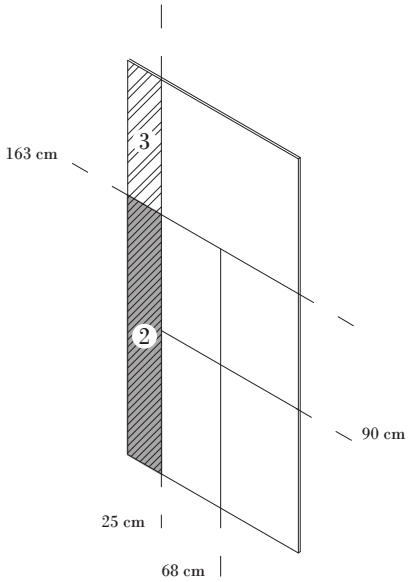
- Il *tipo* identifica la quantità di elementi diversi necessari per il completamento del tamponamento del telaio; le dimensioni di ogni tipo sono individuate attraverso la misurazione degli elementi su ogni prospetto, sia dal lato interno che dal lato esterno.

- Gli *elementi* corrispondono alla quantità di componenti tagliate utili al completamento del tamponamento; all'interno di questa categoria ci sono tutti i *tipi* (le dimensioni necessarie).

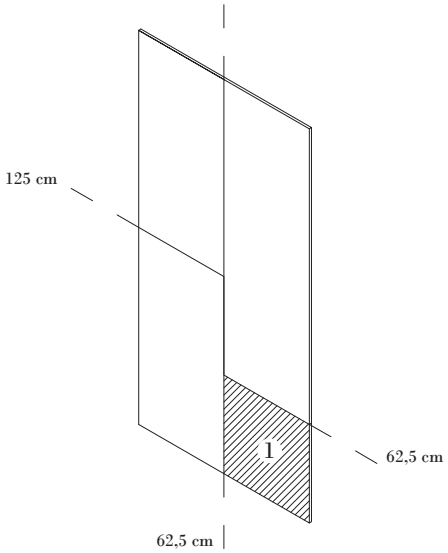
- Gli *ordini* corrispondono al quantitativo di pannelli OSB standard (125 x 250 cm) da ordinare per generare tutti gli *elementi* necessari al completamento dell'operazione. Per ricavare questo dato è necessario effettuare il computo dettagliato inerente ai tamponamenti da inserire all'interno di un programma di ottimizzazione aziendale *OptCut* atto a definire gli schemi di taglio e il quantitativo d' *ordine* necessario.

Esempio schema di taglio pannello

pannello A



pannello M



2 - Resto non modulare
3 - Sfrido non utilizzabile

1 - Resto modulare 0,78 m^2

Da un primo confronto sul *grafico A* si legge una sostanziale differenza nell'ordine dei *tipi* di pannelli OSB neccessari; la progettazione attuale dell'azienda porta ad una generazione di 96 dimensioni diverse, quella modulare si ferma ad 8 *tipi*.
Elementi e *ordine* calano rispettivamente di 20 e 10 unità nel progetto modulare, tale diminuzione è fortemente dipendente dall'utilizzo del pannello standard che, se pur ottimizzato nel suo utilizzo tramite il software non viene sempre utilizzato completamente.

Per chiarire meglio questo aspetto è necessario quindi osservare il *grafico B* che mostra il quantitativo in m^2 in termini di *resto, sfrido* e *scarti totali*.

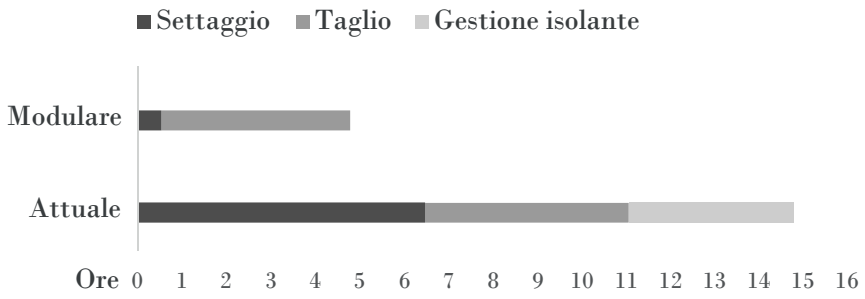
- Con il *resto* si intende quella parte del pannello - una volta avvenuta la fase di taglio - non necessaria alla realizzazione dei *tipi* e quindi degli *elementi*. Il resto però è composto da elementi avente dimensione minima necessaria a realizzare *altri tipi* per *altri progetti* (anche se non si ha la certezza), e quindi può essere opportunamente discolcato in magazzino in appositi spazi dedicati.

- Lo *sfrifdo* rappresenta quella parte di pannello di dimensioni troppo ridotte per poter essere tenuta in considerazione anche su progetti futuri, dunque viene considerata persa.

- Lo *scarto totale* raggruppa tutta l'area dei pannelli OSB non utilizzata ai fini realizzativi del progetto.

La differenza di 17 m^2 che si ha sullo *scarto totale* chiarisce la necessita di un *ordine* maggiore rispetto al progetto modulare. Dunque l'impossibilità di utilizzare in maniera ottimale gli elementi a disposizione comporta uno spreco generale incidente sull'*ordine* e quindi sui *costi generali dell'opera*. Per affrontare l'argomento costi è quindi utile osservare la comparazione di tempi e costi effettuata tramite i *grafici a barre C e D*.

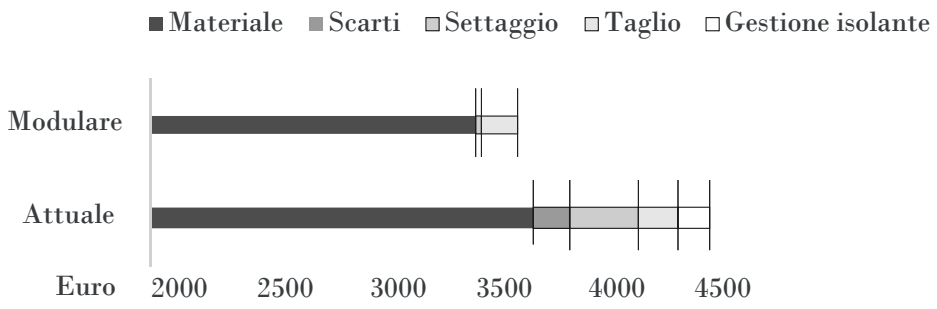
Grafico C



	Settaggio	Taglio	Gestione isolante	Totale
Attuale	6	5	4	8
Modulare	1	4	0	4

Comparazione dei tempi di settaggio macchina, taglio e gestione isolante intercapedine.

Grafico D



	Materiale	Scarti	Settaggio	Taglio	Gestione isolante	Totale
Attuale	3743	169	319	180	145	4556
Modulare	3477	0	26	166	0	3669

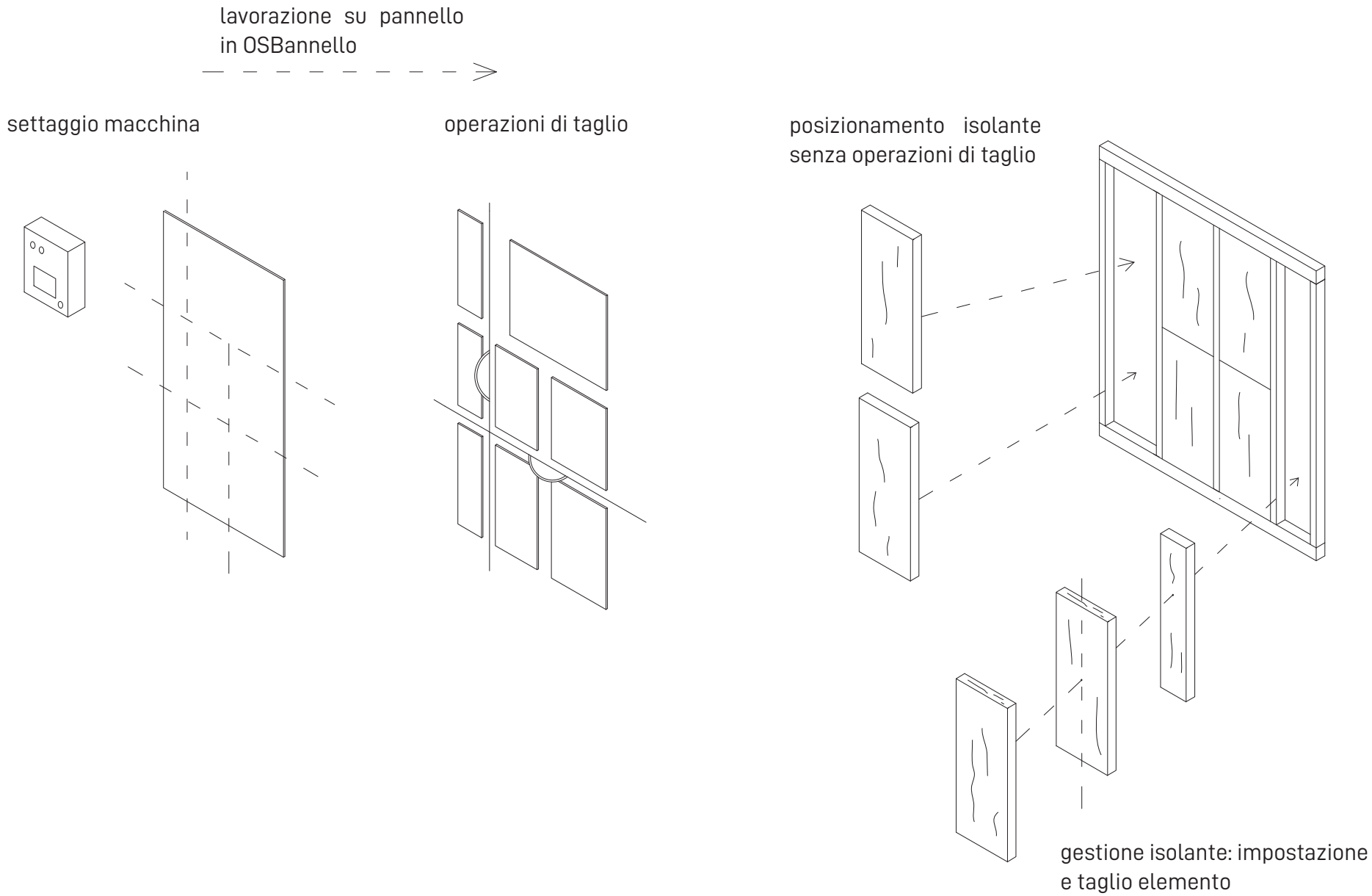
Comparazione dei costi

Il *grafico C* mostra i tempi necessari alle operazioni di settagglio macchina, taglio e gestione isolante non modulare. Lo strumento aziendale per le operazioni di taglio è una macchina sezionatrice a sega circlare che ha bisongo di essere impostata e azionata in ogni operazione. Diverso sarebbe se lo strumento utilizzato fosse una macchina a controllo numerico (CNC), le impostazioni e le fasi di taglio sarebbero automatizzate e i tempi esecutivi minori.

- Il *settaggio* rappresenta la fase preliminare al taglio in quanto identifica l'operazione necessaria per impostare la macchina sezionatrice a sega circlare. Ogni taglio atto a generare pannelli di dimensioni diverse, necessiata di questa fase. Dall'esperienza aziendale è stato possibile ricavare il tempo destinato al settaggio macchina che è di circa 4 minuti per ogni *tipo* di pannello, 96 in questo caso.

- L'operazione di *taglio* si effettua su ogni *elemento* da produrre, 272 nel caso in esame. Per questa operazione è necessario circa 1 minuto ad elemento.

- La *gestione dell'isolante* si riferisce all'inserimento dell pannello in fibra di legno all 'interno dell'intercapedine nella parete a telaio. In questa analisi vengono selezionati solo gli elementi non modulari che neces-


lavorazione su pannello
in OSBannello
settaggio macchina
operazioni di taglio
posizionamento isolante
senza operazioni di taglio
gestione isolante: impostazione
e taglio elemento

sitano di una lavorazione in più per poter essere inseriti tra un montante e l'altro. Per inserire l'alemento è quindi necessario effettuare una misurazione dello spazio disponibile e successivamente il taglio dello stesso componente oppure insufflare il materiale sfuso; queste operazioni necessitano di circa 10 minuti e nel caso in esame sono presenti 22 componenti che necessitano questa operazione.

Osservando il grafico a barre si può verificare l'incidenza che operazioni di settaggio macchina e gestione isolante hanno sui tempi produttivi delle pareti intelaiate. Il confronto mostra chiaramente un impiego di tempo maggiore per il settaggio della macchina nella condizione attuale, la differenza è fortemente influenzata dal numero di tipi; 96 per il progetto analizzato e 8 per quella modulare, ciò significa che sono necessarie 96 operazioni di settaggio e solo 8 per il progetto modulare. Variano di poco i tempi destinati alla fase di taglio, dato che l'operazione è influenzata dal numero di *elementi* e quest'ultimo è influenzato in parte da modularità e superficie da tamponare. L'incidenza dei tempi, e l'uso ottimale o meno dei materiali incide sui costi genrali dell'opera; per affrontare meglio e selezionare le voci oggetto d'analisi è utile osservare il *grafico a barre D.*

All'interno del *grafico D* sono riportati i costi che l'azienda deve sostenere per l'aquisto dei pannelli OSB (*materiale*), gli *scarti* inutilizzati, le operazioni di *settaggio, taglio* del pannello, e quelle per la lavorazione dell'isolante non modulare (*settaggio*).

- Il costo del *materiale* corrisponde all'*ordine* per il prezzo di ogni singolo pannello (125 x 250 cm) in questo caso circa 29 euro. Il costo medio al m^2 dell'OSB 3 è di 9,40 eur/m^2, per ricavare il prezzo unitario di ogni pannello è quindi utile moltiplicare l'area per il costo al mq.

- Il *costo degli scarti inutilizzabili* rappresenta quella parte di materiale che se pur pagata non potrà mai essere utilizzata. Per ricavare il dato è sufficiente moltiplicare il costo del materiale al mq per l'area effettivamente scartata.

- Il *costo del settaggio* viene ricavato moltiplicando ai minuti necessari per tale operazione il costo effettivo aziendale al minuto, in questo caso 0,83 euro/min.

- Le *operazioni di taglio* costa 0,66 eur/min, per ricavare il dato totale è sufficiente moltiplicare i minuti necessari per il costo al minuto.

- Le *operazioni sull'isolante* non modulare; misurazione e il taglio, costano 0,66 eur/min. Gli elementi presi in cosnsiderazione sono quelli avente larghezza inferiore a 50 cm, gli altri di dimensioni superiori possono essere compressi manualmente (dato che la larghezza del prodotto è di 57,5 cm) e inseriti all'interno dell'apposito spazio (tra ogni montante) nella struttura a telaio. In questo caso è necessario tagliare o inserire in maniera sfusa l'isolante per 22 comparti

La valutazione finale rapportata ai costi, mostra una differenza di circa 1000 euro tra progettazione tradizionale e progettazione modulare. Tale valore non tiene conto dei costri necessari per realizzare traverse e montanti di dimensioni diverse e si concentra esclusivamente sul pannello di tamponamento e sull'isolante d'intercapedine.
Inoltre tralascia aspetti strettamente legati alla gestione dei *tipi* all'interno dello spazio produttivo e di magazzino. Questi fattori aspetti logistici non oggetto d'analisi all'interno del contesto aziendale sono stati considerati ugualmente attraverso le nozioni teoriche ricavate dalla letteratura durante la fase di ricerca.

Capitolo IV - Il modulo sperimentale MAACC

4.1 Presentazione del progetto MAACC

Il progetto MAACC rappresenta il lavoro del team studentesco Recyclo del Politecnico di Torino, di cui faccio parte. Il gruppo è composto da tredici studenti provenienti dalle Facoltà di Architettura, Design e Ingegneria affiancati da quattro docenti: G. Callegari, C. Occelli, R. Palma e C. de Giorgi.

Gli ideali del team si fondano su concetti di sostenibilità (ambientale e sociale), ricerca, riciclo, valorizzazione del territorio e del patrimonio storico, ognuno dei quali trova piena espressione nel progetto MAACC (Modulo Abitativo Autosufficiente per Cicloturisti e Camminatori). Quest'ultimo si inserisce in un contesto Europeo di estrema attualità nell'ambito del progetto EuroVelo, un sistema di piste ciclabili che, quando completo, attraverserà l'intero continente. Nello specifico sono previste la progettazione e l'autocostruzione di un prototipo abitativo da collocarsi lungo la Eurovelo8, tratto di collegamenti ciclabili che percorreranno l'Italia da Torino a Venezia (VenTo), nei pressi del Canale Cavour nel territorio del Parco delle Lame del Sesia. L'unità abitativa verrà ubicata all'interno degli edifici storici dismessi presenti nel contesto, quali le vecchie cascine ed i caselli del canale Cavour e sarà realizzata valorizzando la filiera corta, quindi materiali locali come ad esempio il legno di pioppo.

Il MAACC si traduce come Modulo Abitativo Autosufficiente per Cicloturisti e Camminatori che si vuole confrontare con la crescente necessità di strutture ricettive per il turismo a mobilità lenta e che dovrà offrire ai suoi futuri utenti un spazio idoneo al pernottamento e alla riparazione delle proprie biciclette, sul modello del bivacco di montagna. Dopo mesi di duro lavoro, caratterizate da riunioni con docenti, viaggi studio in Olanda e Germania, e incontri con aziende che hanno deciso di collaborare al progetto, il percorso è ora giunto alla fase cruciale dell'intero processo; l'autocostruzione del modulo.

Nello specifico il progetto prevede una struttura di tipo travi e pilastri, un isolamento in intercapedine e una cappottatura esterna. Si compone di una cucina/living, una zona notte e un piccolo bagno. Le dimensioni complessive del modulo sono di 20mq.

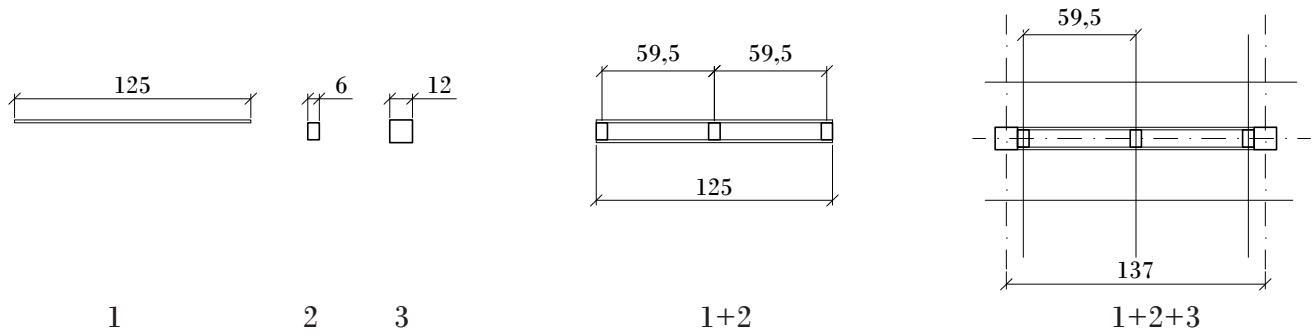
Suteki Wood System è una tecnologia di ingegno giapponese che nasce attraverso l'interpretazione di sistemi costruttivi legno-legno; un nuovo sistema costruttivo antisismico di semplicità assoluta. Il sistema si monta con semplici elementi ad incastro puntuali, in grado di ridurre sensibilmente i tempi di montaggio e la difficoltà di posa in opera. Il sistema è realizzato su progetto in stabilimento seguando standard qualitativi rigorosi.

La struttura viene fornita combinata da connettori metallici rinforzati al carbonio con legno lamellare di provenienza europea. Il sistema è composto da travi e pilatri GL 24, con certificazione JAS-Standard giapponese per le costruzioni in legno lamellare. La struttura è inoltre certificata PEFC, per la provenienza del legno da foreste gestite in modo sostenibile.

Sistema costruttivo a telaio in legno lamellare
Suteki wood system

Inserimento fotografico realizzato dal gruppo vincitore bi-Rota, composto da Tazio Chiomio, Angelica Rossi e Lucia Tudini, novembre 2017.

4.2 Il coordinamento diemensionale del MAACC



L'influenza delle dimensioni preesistenti

Le dimensioni generali del modulo abitativo sono dipendenti da fattori strettamente legati al contesto entro il quale si inserisce, ad esempio la larghezza, la profondità e l'altezza del portico saranno uno dei punti di partenza per la progettazione. Definire i limiti entro il quale inserire il progetto diventa quindi un punto di partenza necessario per garantire la possibilità costruttiva del modulo.
L'abitabilità richiede dimensioni minime per garantire agli utenti di potersi muovere all'interno di un'abitazione con semplicità; questo è un altro fattore estremamente influente ai findi di un'adeguata progettazione e anche esso dipende dalle dimensioni, questa volta interne del modulo. Ad esempio, la larghezza degli accessi, le dimensioni delle zone destinate al riposo e il bagno necessitano di particolari attenzioni dimensionali che influiranno in maniera sostanziale sul disegno degli spazi.

Il disegno dello spazio va poi adattatto alla destinazione finale; il modulo MAACC, nello specifico verrà prevalentemente abitato da *camminatori* e *ciclisti*, sarà quindi necessario formulare la relazione degli spazi e le loro dimensioni in base a questo scopo, dunque si dovrà disegnare lo spazio rendedolo abitabile per *ciclisti*. Lo sviluppo di questi temi utili alla disegno generale va quindi rapportato ad altre dimensioni; quelle tecnologiche delle componenti che seriviranno a costruirlo.

Le dimensioni delle componenti

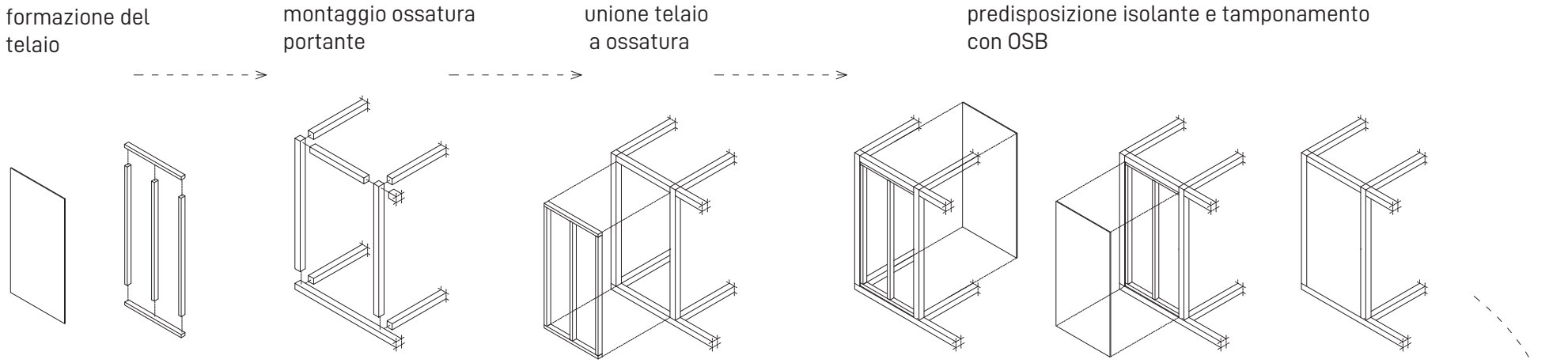
Le coomponenti edilizie principali del sistema costruttivo a telaio con ossatura portante sono:

- 1 Il pannello in OSB di dimensioni standard 250 x 125 cm. La funzione del pannello è quella di tamponare la struttura, permettendo di inserire tra un pannello e l'altro del materiale isolante

- 2 Il Montante in Abete strutturale di dimensioni 6 x 8 cm, che ha la funzione di sostenere il tamponamento e di generare lo spazio per l'intercapedine, grazie alle dimensioni in profondità dell'elemento.

- 3 L'ossatura portante in travi e pilastri di dimensioni 12 x 12 cm unite

Fasi costruttive principali



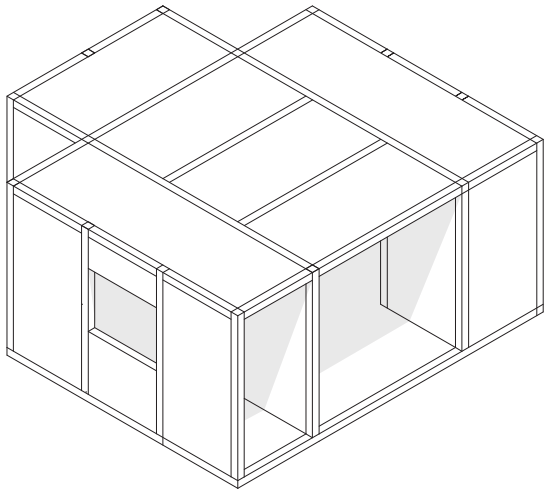
tramite il sistema costruttivo *Suteki*.

Ogni componente principale del sistema costruttivo dovrà quindi relazionarsi e unirsi con gli altri componenti in maniera coerente alle dimensioni degli elementi in gioco:

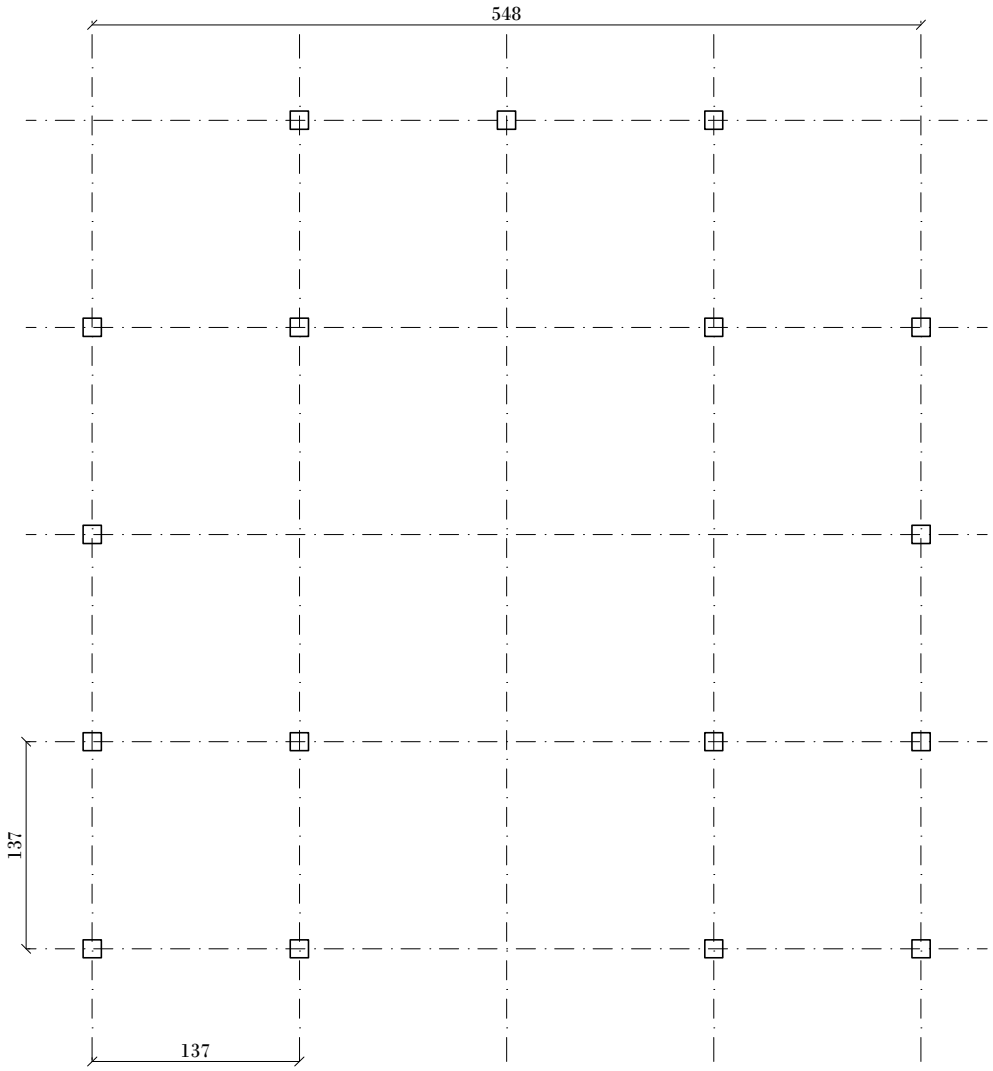
-1+2 Rappresenta in sezione orizzontale l'unione e il rapporto dimensionale instaurato tra il componente 1 (il pannello in OSB) e il componente 2 (il montante)

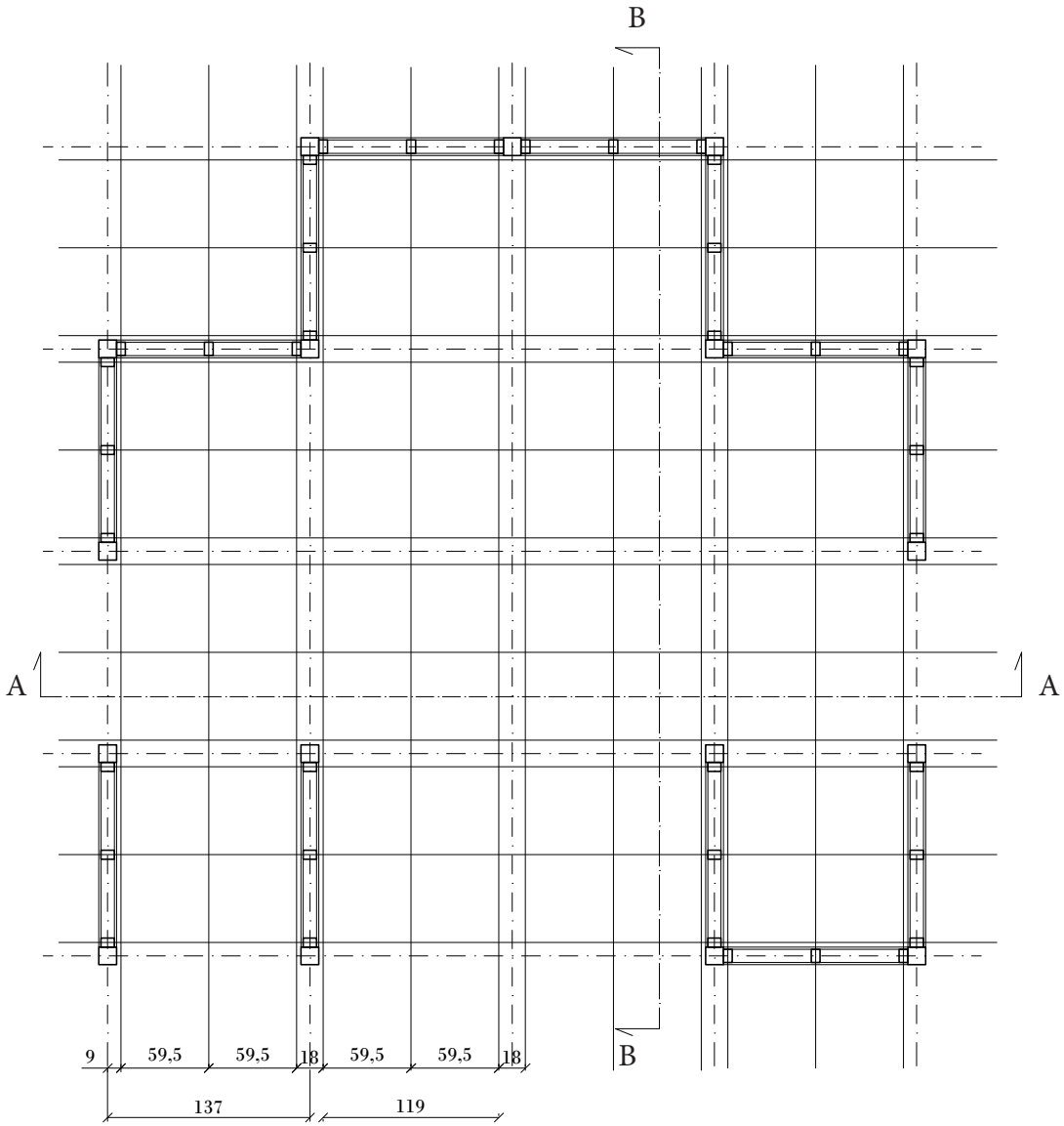
- 1+2+3 Rappresenta l'ultima fase per la creazione dell'involucro principale; questa fase definisce l'accoppiamento dell'ossatura portante con il telaio munito di tamponamenti.

La fasi di disegno per spiegare le relazioni tra le parti non coincidono con le fasi realizzative, anche se ne sono strettamente legate. Per spiegare meglio le fasi realizzative della scatola principale del modulo si può osservare lo schema assonometrico soprastante.

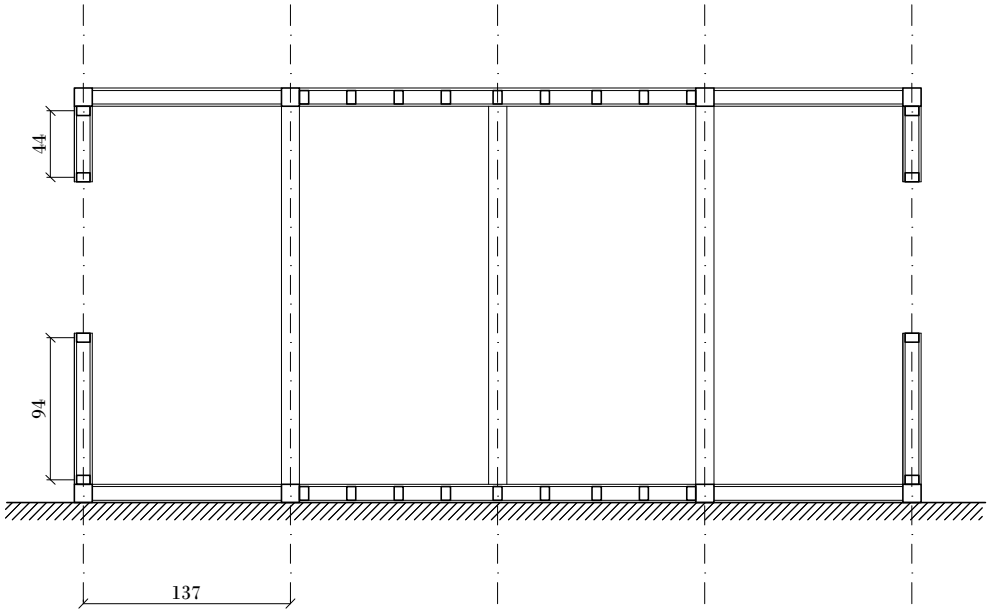


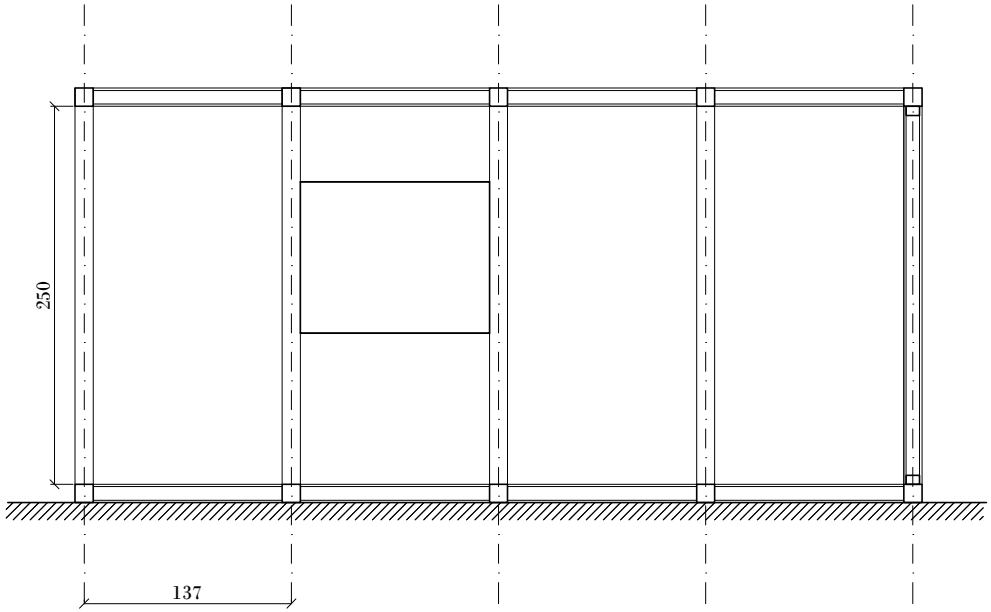
Planimetrie del modulo con posizionamento delle componenti (ossatura e telaio) sulle griglie modulari - scala 1.50





Sezioni A-A e B-B, scala 1.50





La generazione delle griglie

Per chiarire da dove derivano le dimensioni delle grigle adoperate per il coordinamento modulare si può richiamare l'ultima parte del breve paragrafo introduttivo sull'influenza delle dimensioni presistenti, «*lo sviluppo di questi temi utili alla disegno generale va quindi rapportato ad altre dimensioni; quelle tecnologiche delle componenti che seriviranno a costruirlo*».

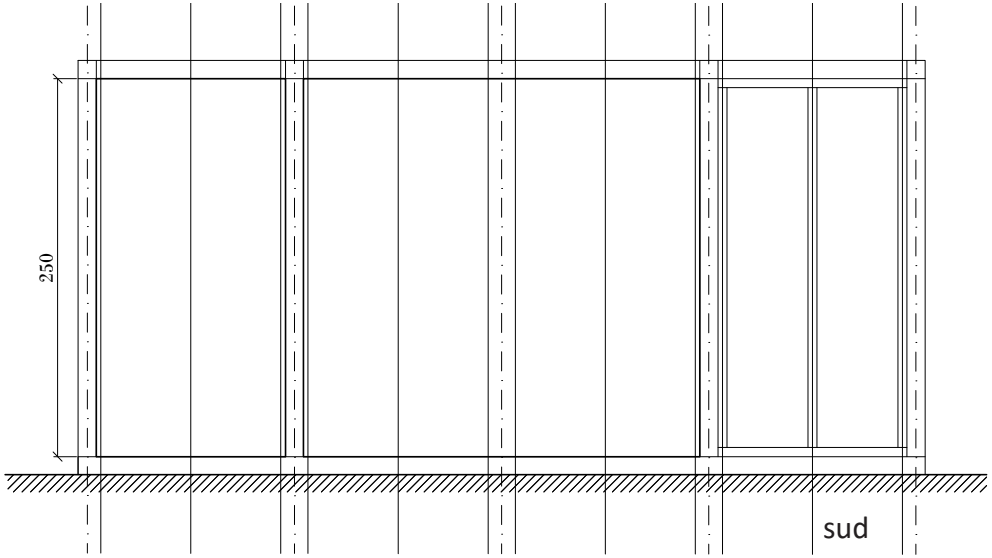
Le dimensioni delle componenti in gioco hanno definito lo spazio tra una linea direttrice e l'altra della griglia; la volonta di una semplice auto costruzione, che limitasse le lavorazioni destinate al taglio e ripetute misurazioni ha portato all'utilizzo di linee guida modulari che "condizionassero" il posizionamento di tutte le componenti.

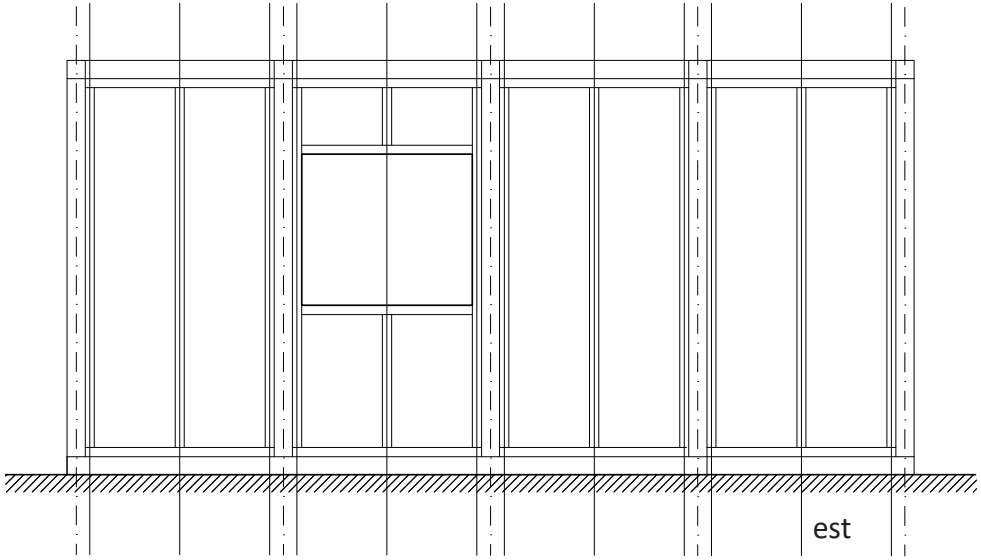
E' dunque essenziale chiarire che gli strumenti adoperati per la costruzioine sono di natura semplice, quest'ultimo aspetto (non per importanza ma per processo) ha influenzato le decisioni progettuali.

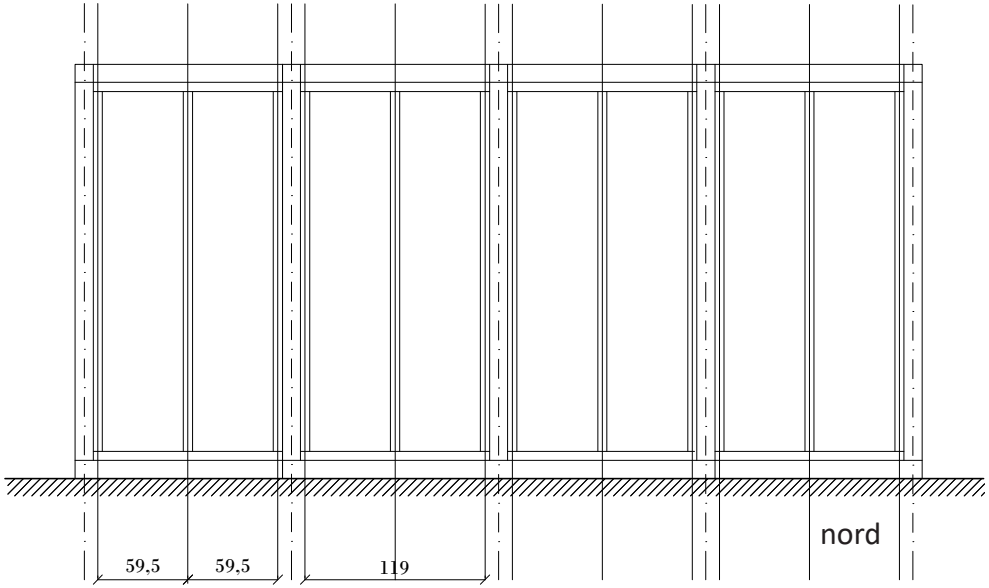
L'adoperabilità di una griglia modulare, per limitare misurazioni, tagli e tempi di lavorazione è dettata in parte anche dall'impossibilità economica di utilizzare macchine a controllo numerico (CNC) per il taglio laser delle componenti; quest'ultima avrebbe permesso di montare la scatola dell'involucro predisponendo gli elementi pre tagliati, senza lunghe azioni di taglio durante le fasi di cantiere.

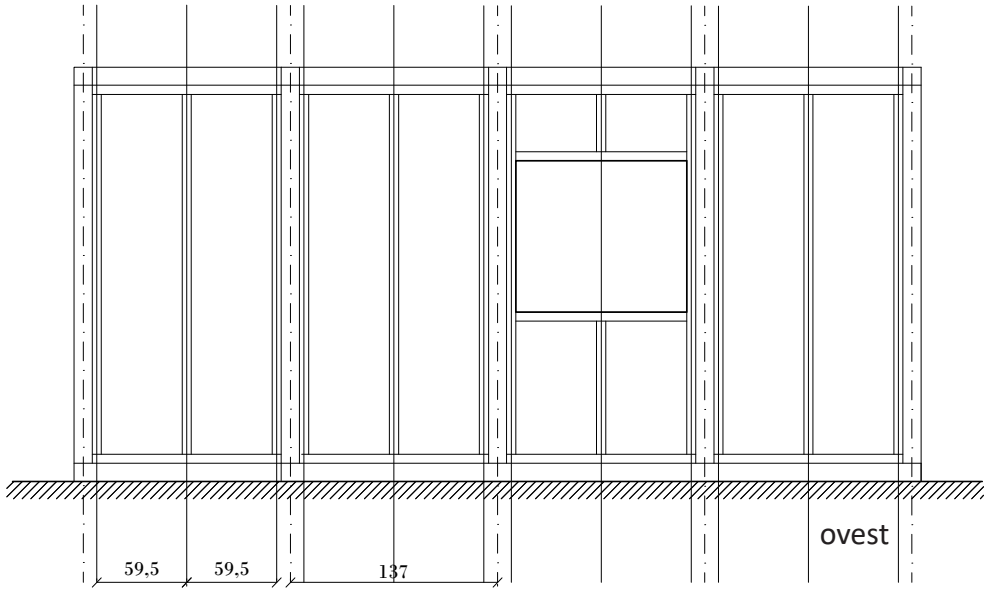
Dunque la generazione della griglia modulare vuole essere uno strumento adoperato per venire incontro ad alcune esigenze costruttive e produttive, ed è strettamente legata anche ad aspetti pratico realizzativi; strumenti e dimenioni degli elementi.

sezioni del modulo abitativo - scala 1.50









planimetria tecnologica arredata - scala 1.50

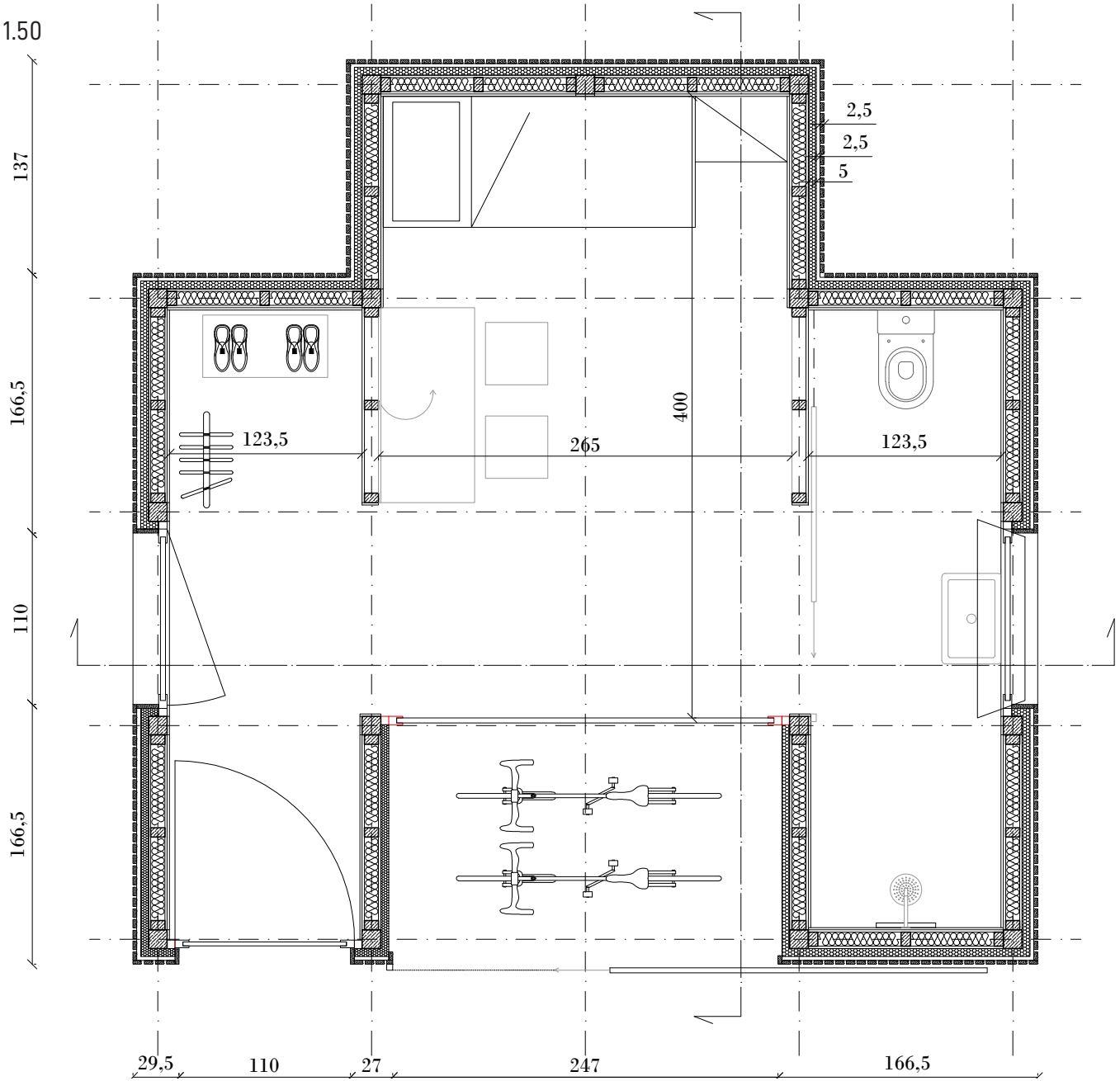
La planimetria sulla destra mostra:

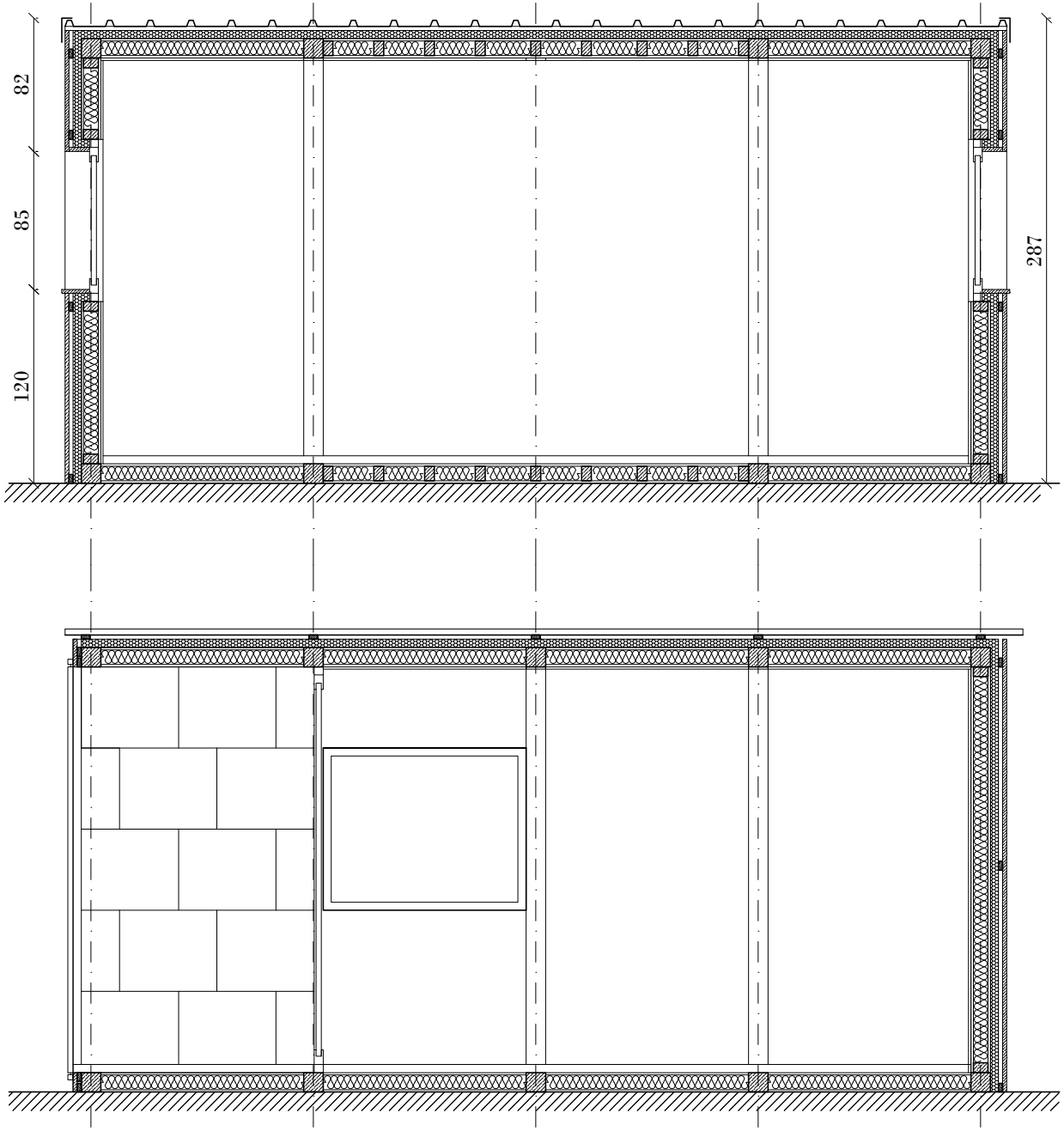
- la disposizione delle funzioni all'interno del modulo abitativo
- le dimensioni principali degli spazi
- la grandezza e la disposizione delle aperture
- la stratigrafia dell'involucro

Uno spazio ampio e centrale viene dedicato al posteggio della bici, area destinanta anche alle lavorazioni di manutenzione della stessa. L'area è accessibile diretamente dall'esterno tramite un ampia porta scorrevole. La bici riposta su un apposito sotegno, può essere mantenuta e pulita senza sporcare le altre zone interne. L'involucro di quest'area adiacente e facente parte del modulo è prevalentemente trasparente e permette l'accesso della luce alla zona centrale del modulo, e la visibilita del ciclista verso la bici.

L'ingresso al modulo apre verso una piccola cabina armadio dove poter riporre subito scarpe e vestiti utilizzati durante la tratta ciclabile.

Al centro del modulo si trova la zona





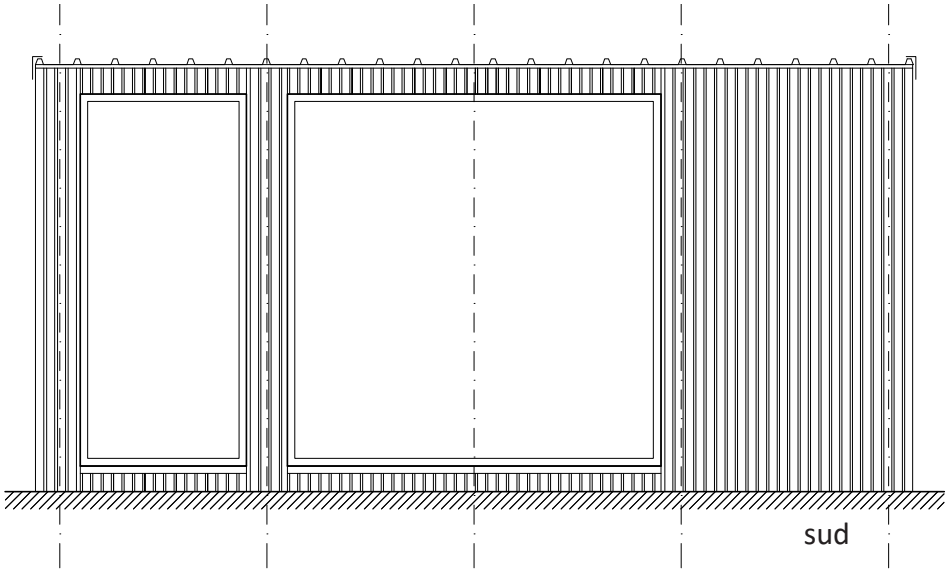
giorno/notte, che composta da un tavolo ribaltabile a parete e due letti a castello adiacenti alla parete nord del modulo. Il servizio igenico è disposto sul lato ovest e ha le stesse dimensioni dell'area d'ingresso ed accessibilieattraverso una porta scorrevole in legno. I tre spazi sono delimitati in parte da due strutture a telaio tamponate solamente da un lato, per lascire spazio utile a riporre oggetti nella zona giorno.

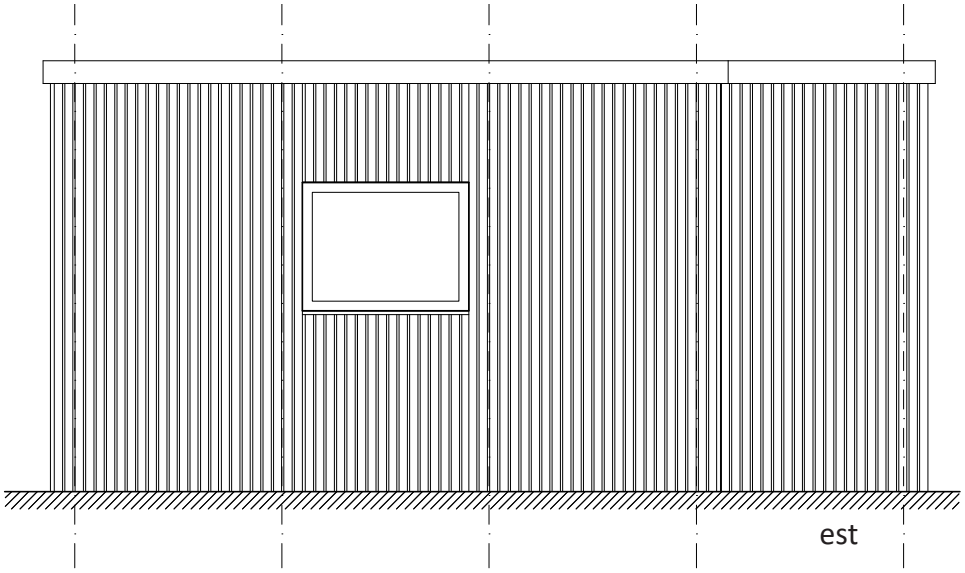
L'ingresso è genreato da un apertura di 125 cm di larghezza e 240 cm di altezza perfettamente inserito tra i pilastri in legno lamellare. Anche le finestre larghe 125 cm si inseriscono all'interno dello schema modulare e hanno un'altezza da terra di 100 cm e una dimesnione in alzato di 85 cm.

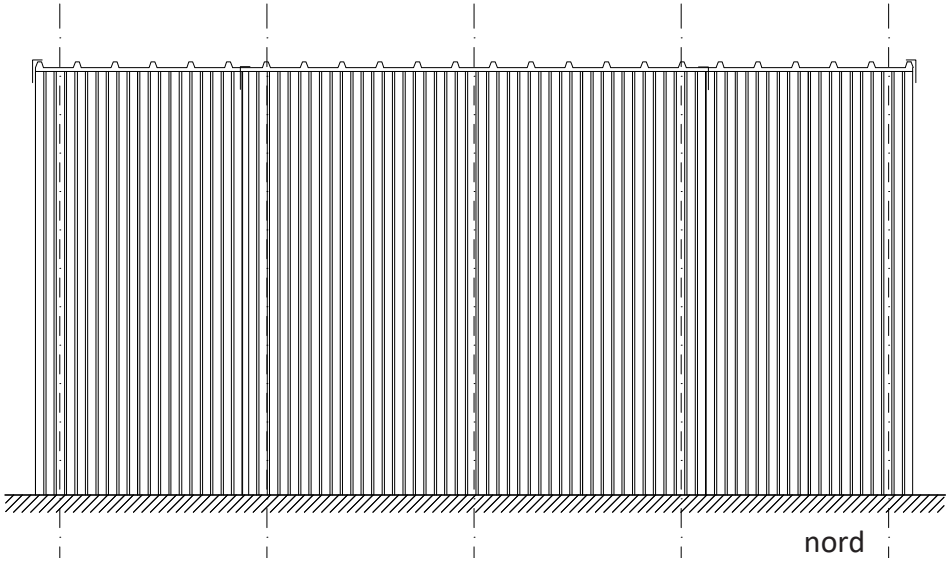
Il rivestimento interno del modulo è formato da pannelli di compensato in pioppo fissati con viti ai pannelli in OSB sottostanti. Gli arredi di forma semplice sono realizzati sempre in pannelli di compensato avente rivestimento superficiale in Okumè.
La pavimentazione è realizzata tramite pannelli srotolabili in gomma riciclata, lo strato è spesso 5 cm.

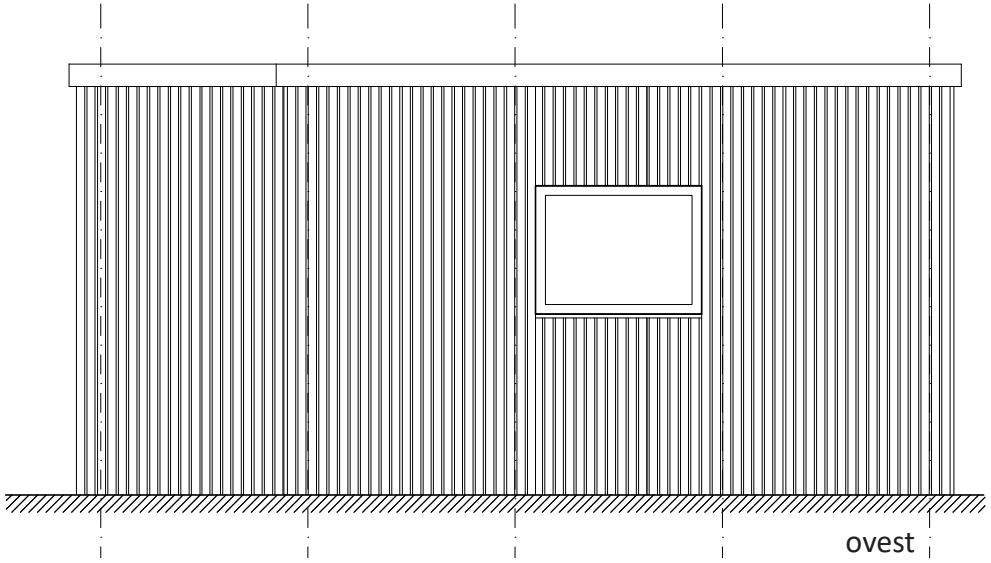
La struttura portanta è realizzata con travi e pilastri lamellari agganciate tra loro tramite il sistema Suteki. Questo sistema comporta l'utilizzo di pochi e semplici elementi per l'unione delle componenti portanti: piastre inserite all'interno della testa della trave fissate tramite tasselli metallici inseriti con martello.

prospetti del modulo abitativo - scala 1.50









La struttura viene tamponanta attraverso pannelli in OSB di 125 x 250 cm inseriti tra gli elementi portanti e sorretti da un telaio in legno d'abete avente sezione 6 x 8 cm. Lo spazio interno generato dal posizionamento del tamponamento è destinato all'inserimento di blocchi rigidi di isolante in calce e canapa .

Il cappotto esterno è realizzato con blocchi isolanti in sughero di 5 cm di spessore, il cappotto viene successivamente rivestito con listelli in abete trattato, con sezione di 5,4 x 2,5 cm sorretti da traverse dello stesso materiale e dimensione. Alcune scelte tecnologiche riferite all'involucro sono strettamente legate al sito entro il quale il modulo si inserisce, la tettoia esistente permette di proteggere dall'acqua gran parte degli elementi dell'involucro senza particolari accorgimenti tecnologici.

La modularità generale della struttura si riperquote anche sulle altre componenti del modulo: il cappotto, il rivestimento intenrno e i blocchi in calce e canapa. L'utilizzo di una griglia modulare come strumento di progetto ha dunque non solo l'obbiettivo di migliorare alcuni aspetti legati al contesto produttivo della fabbrica ma si inserisce anche in contesti di auto costruzione, dove il ridotto numero di tagli e di misurazioni permetterebbe una più veloce e meno rischiosa (in termini di errori dimensionali) esecuzione dei lavori.

Le revisioni del team Recyclo ai gruppi che hanno partecipato al workshop, novembre 2017.

Scarico di alcune componenti per la costruzione del MAACC, Parco delle Lame del Sesia, ottobre 2018.

Incontro del Team Recyclo con l'azienda Be-eco, settembre 2018.

Organizzazione del cantiere per l'inizio dei lavori di costruzione, dicembre 2018.

Conclusioni

La redazione di questa tesi di laurea si è sviluppata nell'arco temporale di nove mesi. Il percorso è stato caratterizzato da due fasi principali, quella di ricerca e quella sperimentale. Le ricerca è stata condotta grazie a degli stimoli personali nati all'interno del percorso di studi:

- *Il progetto come si relaziona con la tecnologia costruttiva?*
- *Quali sono i mezzi per costruirlo? le componenti?*
- *Quanto delle componenti si adatterà al progetto e quanto del progetto si adatterà ad esse? Quali saranno le conseguenze*
- *Che ruolo hanno le forme e le dimensioni messe in gioco?*
- *Saranno degli artigiani a costruirlo, sarà un processo industrializzato?*
- *L'architetto quali strumenti di semplificazione userà per coordinare al meglio il processo progettuale?*

L' esperienze all'interno del tirocinio e del team studentesco mi hanno permesso di rispondere in parte a queste domande. Ho avuto l'opportunità di sperimentare lo strumento progettuale nato dalle intuizioni e dalle ipotesi colte durante le ricerche effettuate, per rapportarlo poi a sistemi costruttivi in legno simili, caratterizzati da processi realizzativi molto diversi: la prefabbricazione e l'autocostruzione.

Dall'utilizzo della griglia come strumento per una progettazione coerente al sistema costruttivo intelaiato leggero sono emersi alcuni dati significativi; il risparmio di tempo, la diminuzione dei costi, l'eliminazione degli sfridi e la sostanziale diminuzione a pochi elementi modulari per il completamento del tamponamento. L'applicazione al modulo sperimentale MAACC ha fatto emergere altri fattori; il ridotto numero di lavorazioni necessarie sulle componenti, la velocità di posa e l'ottimizzazione del materiale utilizzato.

Dall'applicazione della griglia al caso studio aziendale si ottengono dei risultati che confermano la tesi iniziale. È necessario sottolineare che il contesto è caratterizzato macchine semplici per il taglio dei pannelli e che lo studio si concentra esclusivamente sul tamponamento del telaio e sulle lavorazioni dell'isolante d'intercapedine. La trattazione si è sviluppata considerando dunque aspetti produttivi, tecnologici e architettonici. Ciò che emerge è una sostanziale regolarità architettonica che si ripercuote in modo concreto durante le fasi produttive delle pareti prefabbricate. Qui di seguito vengono riportati alcuni dati numerici significativi dopo il coordinamento modulare:

Produzione del 92% in meno di pannelli aventi dimensioni diverse
- *Tipi 8 < 96 n°*

Eliminazione del 100% degli gli sfridi e del 94% dei resti
- *Sfridi 0 < 6 mq*
- *Resti 0.78 < 12 mq*

Riduzione del 20 % dei costi e del 50% del tempo destinato alla produzione delle pareti prefabbricate
- *Ore 4 < 8 ore*
- *Costi 3600 < 4500 euro*

Lo studio effettuato si concentra sul pannello OSB, considerando, le quantità, i tempi e quindi i costi per la lavorazione. La trattazione limitata ad un'abitazione di due piani fuori terra considera un quantitativo di materiale sostanzialmente ridotto rispetto ad un edificio multipiano che mostrerebbe con ancora più evidenza l'influenza di un coordinamento modulare. Uno degli sviluppi possibili della tesi può essere quindi l'analisi delle ripercussioni sul telaio, e su tutto il processo produttivo; gestione del magazzino e analisi delle fasi produttive complete.

Da questo elaborato emerge l'intento di migliorare la produzione di un fabbricato attraverso un processo progettuale guidato da strumenti grafici, sviluppati attraverso ricerche, studi della tecnologia e analisi

architettoniche concrete. La tesi sviluppata chiarisce attraverso un'analisi numerica l'ottimizzazione della produzione e mostra con semplici strumenti illustrativi il mantenimento di una buona customizzazione architettonica.

Il limite di questa tesi, considerato come stimolo per un analisi futura è quello di non aver sviluppato un indagine sulle possibili applicazioni alle sopraelevazioni, e alle dimensioni rigide di un area edificabile. Il limite massimo definito dal perimetro entro il quale può racchiudersi una nuova costruzione rappresenta quindi un'interessante approfondimento progettuale della tesi trattata, il rapporto tra dimensioni modulari e dimensioni non modulari è il presupposto per una nuova operazione progettuale di coordinamento dimensionale atta a definire delle nuove strategie progettuali.

Il coordinamento modulare del modulo MAACC ha tenuto in considerazione il sistema costruttivo Suteki, l'autocostruzione, la ridotta strumentazione e le dimensioni architettoniche particolari. Gli strumenti semplici, i tempi ridotti e le risorse limitate sono state lo stimolo necessario per l'implementazione della tecnologia attraverso il coordinamento dimensionale delle componenti.

Lo sviluppo modulare del modulo ha come intento quello di ripercuotersi favorevolmente alle fasi di cantiere, incidendo sulle lavorazioni necessarie alle componenti prima della fase di montaggio.
Analizzando alcune operazioni necessarie sulle componenti principali emerge quanto segue:

Tamponamento in OSB
- *3 dimensioni di pannelli necessarie, di cui uno appartenente alla dimensione standard del pannello*
- *4 operazioni totali di taglio sui pannelli*

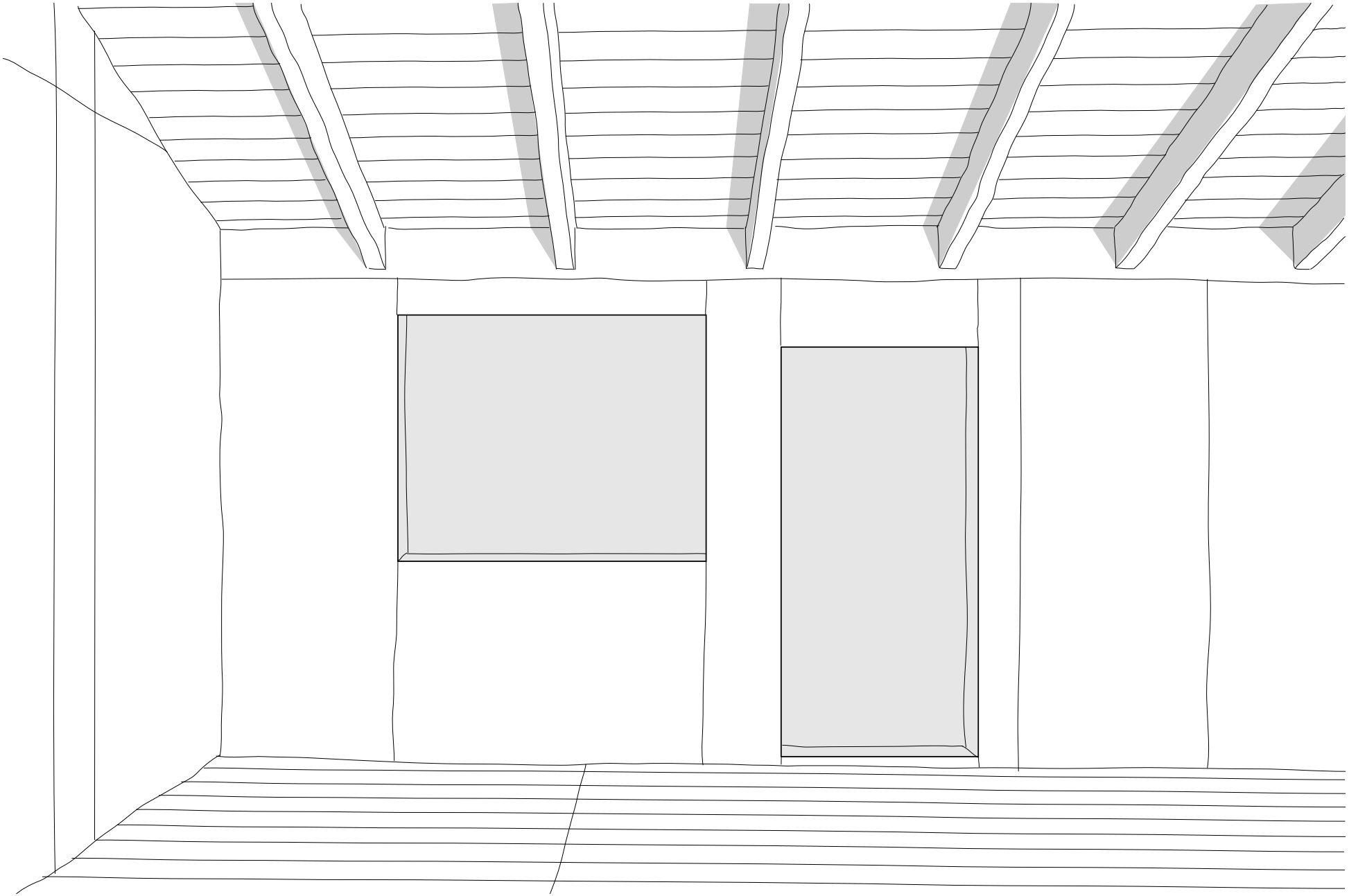
Sul telaio
- *3 dimensioni necessarie*
- *20 operazioni di taglio*

Sull'isolante d'intercapedine
- *3 dimensioni necessarie, di cui una appartenente alla dimensione standard del prodotto*
- *4 operazione di taglio*

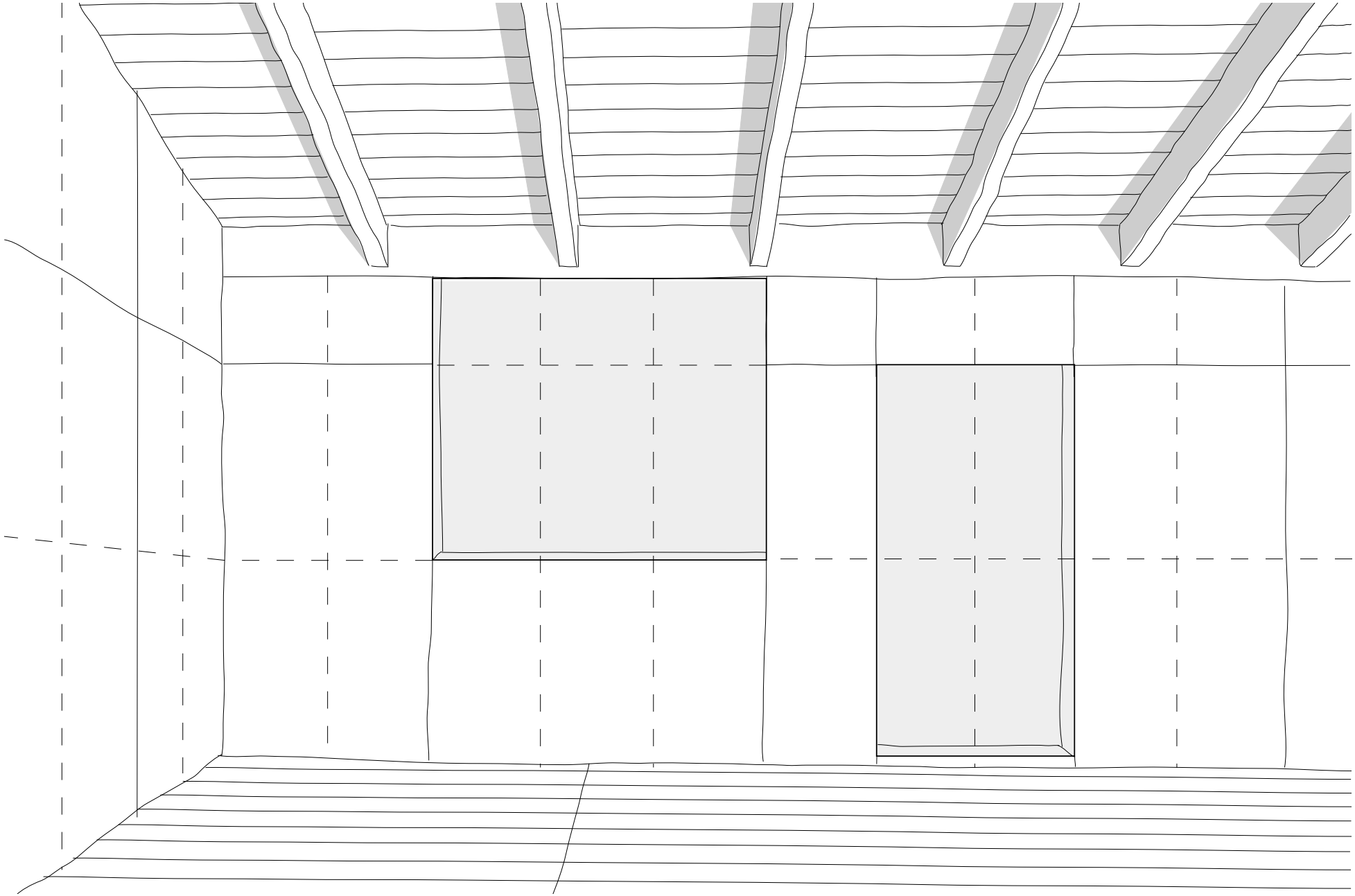
Il vantaggio riportato dalla semplificazione sopra descritta vuole essere una conferma di quanto discusso inizialmente all'interno della tesi. Il ridotto numero di azioni e di tipi coincide in maniera intuitiva con una più facile organizzazione del cantiere e con una riduzione dei tempi necessari. Uno dei possibili approfondimenti può quindi essere un analisi concreta delle operazioni di cantiere eseguite dagli studenti del team. Un altro possibile approfondimento di studio potrebbe essere il coordinamento rapportato ad altri limiti dimensionali, relativi al trasporto dell'intera cellula abitativa o a parti già costruite di essa.

La griglia dunque si dichiara come uno strumento flessibile, applicabile ad ogni contesto poiché condizionata dal processo progettuale e quindi coerente ad esso. L'approccio progettuale elaborato ha come obbiettivo l'eliminazione del gap tra progettazione e costruzione e non prescinde dal costante sviluppo tecnologico.

«Il coordinamento dimensionale è visto nel quadro dell'azione normalizzatrice come il mezzo più sistematico e più efficace ai fini dell'integrazione dimensionale degli standard di prodotto. Si forma così un tutto organico atto a inserirsi in modo conveniente in potenziali contesti architettonici anziché avere una catena di episodi staccati e reciprocamente indifferenti.»
Giuseppe Ciribini.



Vista dall'interno del caso studio in Baldissero Torinese, illustrazione con pannelli non modulari



Vista dall'interno del caso studio in Baldissero Torinese, illustrazione con pannelli modulari

Bibliogafia

AA.VV., *Industrializzazione dell'edilizia: Approccio alla struttura sistemica del processo edilizio*, Istituto di tecnologia dell'architettura dell'università di Roma, Roma 1971.

ALBERTO ALESSI, *Casa Montarina a Lugano – un edificio multipiano in città*, in PROMO_LEGNO (a cura di), *Case ed edifici in legno, convegno: Costruire nel nuovo intervenire nell'esistente*, Firenze 2009.

ALMERICO RIBERA, *Legno: L'universo costruttivo di un materiale nuovo*, I vol., Ribera legnoformazione, Milano 2015.

ANDREA BOCCO, GIANFRANCO CAVAGLIA', *Flessibile come di pietra. Tattiche di sopravvivenza e pratiche di costruzione nei villaggi montani*, (collana Arch&tipi), Celid, Torino 2008.

BRUNO MUNARI, *Da cosa nasce cosa. Appunti per una metodologia progettuale*, (collana Economica Laterza), XCVI vol., 16ª edizione, Laterza, Roma 2010.

CRISTINA BENEDETTI, *Costruire in legno: edifici a basso consumo energetico*, 2ª edizione, Bozen-Bolzano University Press, Bolzano 2014.

DANIELA BOSIA, *L'opera di Giuseppe Ciribini*, (collana Ricerche di tecnologia dell'architettura), Franco Angeli Edizioni, Milano 2013.

DOMENICO ORLACCHIO, *Per un'architettura industrializzata* (Monografia dalla collezione di Quaderni dell'Istituto di metodologia architettonica), Napoli 1974.

GIANCARLO MOTTA, ANTONIA PIZZIGONI, *La Nuova Griglia Politecnica. Architettura e macchina di progetto* (a cura di Riccardo Palma), (collana di Architettura diretta da Massimo Scolari), 1ª edizione, Franco Angeli Edizioni, Milano 2011.

GIORGIO PASSADORE, *Ricerca di moduli universali sulla coordinazione modulare in "Atti della società degli ingegneri e degli architetti in Torino"* (documentazione proveniente dalle Collezioni Storiche del Politecnico di Torino, sezione Periodici, sezione Atti e rassegna tecnica, sezione Atti periodo 1960-1969, sezione Atti annata 1960, sezione mese 10 ottobre).

GIUSEPPE CIRIBINI, *Architettura e industria: lineamenti di tecnica della produzione edilizia*, Libreria editrice politecnica Tamburini, Milano 1958.

HEINRICH TESSENOW, *Osservazioni elementari sul costruire* (a cura di Giorgio Grassi), (titolo originale: *Hausbau und dergleichen*. Woldemar Klein Verlag, Baden-Baden, IV edizione, 1953, I edizione, Berlino, 1916, traduzione italiana di Sonia Gessner), (collana di Architettura diretta da Massimo Scolari), Franco Angeli Edizioni, Milano 1998.

HERMANN KAUFMANN, *Wood works ökorationable baukunst*. Architecture durable (a cura di Otto Kapfinger), SpringerWienNewYork (a part of Springer Science+Business Media springer.at), Austria 2009.

KONRAD WACHSMANN, *Costruzioni in legno tecnica e forma* (a cura di Anna Maria Zorgogno), (titolo originale: Holzhausbau, Ernst Wasmuth Verlag, Judith Wachsmann 1930, traduzione dal tedesco di Marco Trisciuoglio), Edizioni Angelo Guerini e Associati, Milano 1992.

LUCA CANEPARO, *Fabbricazione digitale dell'architettura. Il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire* (contributi di Liliana Bazzanella), 1ª edizione (collana Ricerche di tecnologia dell'architettura), Franco Angeli Edizioni, Milano 2012.

LUISA FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, CARLOS SOLER MONRABAL, *El General Panel System de Konrad Wachsmann y Walter Gropius, 1941*, in S.HUERTA, I. GIL, S.GARCIA, M.TAIN (a cura di), *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Santiago de Compostela*, Madrid 2011, pp. 375-385.

MARTINA PFEIFER STEINER, ALBERTO ALESSI, *Consegna franco domicilio. Un'architettura forte rilegge un luogo montano partendo da una consapevolezza costruttiva adeguata e sorprendente*, in "Promolegno: Rivista sul legno e i suoi usi in architettura" (allegato all'edizione 956/12 della rivista Domus), Materialegno Numero 04, L'abitare intenso. Vivere nel legno un ambiente adatto a tutte le stagioni, marzo 2012.

RYAN E. SMITH, *Prefab architecture: a guide to modular design and construction* (a cura di James Timberlake), John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey 2010.

WERNER SZAMBIEN, *Jean-Nicolas-Louis Durand 1760-1834: Il metodo e la norma nell'architettura* (collana Saggi Polis Architettura e urbanistica), Marsilio Editori, Venezia 1986.

Sitografia

www.archdaily.com
www.archiportale.com
www.architectsjournal.co
www.architetto.info
www.digit.biblio.polito.it
www.harvardartmuseums.org
www.images.lib.ncsu.edu
www.instoria.it
www.kaufmannzimmerei.at
www.medium.com
www.modom.it
www.modul-ar.blogspot.com
www.olkaufmann.com
www.paesionline.it
www.patrickmarini.wordpress.com
www.platform-ad.com
www.promolegno.com
www.storiadellarchitetturamoderna.com
www.stuttgart-tourist.de
www.stylepark.com
www.treccani.it