Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità
A.a.2025/2026
Sessione di Laurea Settembre 2026

L'evoluzione dell'edilizia prefabbricata DADO

Sperimentazione di un sistema costruttivo modulare

Relatore:
Prof. Arch. Savio Lorenzo

Candidato:
Mola Enrico

L'evoluzione dell'edilizia prefabbricata

ABSTRACT DADO

Sperimentazione di un nuovo sistema costruttivo modulare

Il presente lavoro di tesi nasce dalla volontà di esplorare la prefabbricazione nel mondo delle costruzioni, analizzandone l'evoluzione dalle origini alla contemporaneità. Particolare attenzione è rivolta ai successi delle soluzioni adottate e alle cause dei relativi fallimenti storici, con lo scopo di comprendere le dinamiche sociali, industriali e commerciali prendendo come riferimento produttori leader del settore quali Wolf Haus e Rubner Haus.

Sulla base del quadro teorico e tecnico affrontato, l'obiettivo risiede nella sperimentazione di un sistema modulare alternativo, basato su un abaco di "elementi" facenti parte di un nuovo sistema costruttivo teorico. L'approccio metodologico prevede il ragionamento su tutte le fasi del ciclo di vita del componente: dalla fabbricazione al montaggio in opera degli "elementi", fino al loro potenziale riuso, l'obiettivo principale è di rispondere alle attuali esigenze abitative e ambientali puntando sul Design for Deconstruction (DfD).

La validità tecnico-costruttiva del sistema viene successivamente testata attraverso l'applicazione pratica su due proposte residenziali, al fine di verificare le potenzialità della modularità e del sistema sotto molteplici aspetti, quali la libertà compositiva, l'impatto percettivo, le soluzioni tecnologiche impiegate, il comfort e le tempistiche di realizzazione.

La ricerca ha il fine di interfacciarsi sia con le difficoltà precedentemente affrontate in esperienze passate, sia con le problematiche attuali, verificando se un sistema modulare basato sulla ripetitività delle parti, può offrire vantaggi, e allo stesso tempo, i compromessi che incorrono, mettendo in luce le sue potenzialità o limiti, con il fine di determinare se è in grado di rispondere efficacemente alle esigenze collegate alla sostenibilità ambientale ed economica.

Indice

CAPITOLO 01

Le Esigenze che hanno Condotto lo Sviluppo della Prefabbricazione

01 Prime esperienze di prefabbricazione

1.1 Le difficoltà riscontrate durante la colonizzazione Britannica..... 12

1.1 L'economicità e la velocità garantita dal sistema industriale nelle fonderie..... 13

1.1 L'abbondanza di risorse e l'esigenza di residenze economiche in America..... 14

02 La prefabbricazione come soluzione all'emergenza abitativa

2.1 La casa in serie: il Fordismo..... 15

2.2 Mies van der Rohe, Walter Gropius e Le Corbusier..... 16

2.3 Richard Buckminster Fuller e Jean Prouvé..... 16

2.4 La necessità di ricostruire nel dopoguerra..... 17

2.5 Le criticità dei sistemi industrializzati..... 18

03 La volontà di ricerca d'identità attraverso la prefabbricazione

3.1 Il desiderio di dare nuovamente carattere alle città..... 20

3.2 Le nuove visioni dei Metabolism e Archigram..... 21

3.3 La prefabbricazione High Tech..... 21

04 Nuove esigenze sociali e ambientali indirizzano la prefabbricazione verso nuovi paradigmi

4.1 L'emergere della consapevolezza ambientale..... 23

4.2 La rivoluzione condotta dalla La Mass Customization..... 24

4.3 Un nuovo sistema di lavoro integrato: il BIM..... 25

4.4 DfD ed Economia Circolare nell'edilizia contemporanea..... 26

4.5 Conclusioni: l'eredità del passato nel progetto contemporaneo..... 29

CAPITOLO 02

Le Caratteristiche dei sistemi costruttivi prefabbricati

01 Da singolare opera d'arte a Prodotto Industriale

1.1 L'industrializzazione..... 30
1.2 Il Design degli elementi..... 31
1.3 Progettare e Costruire come un Meccano..... 32

02 I Principi Teorici e le Regole di idoneità della costruzione off-site

2.1 I Principi della costruzione e l'Impatto della prefabbricazione sulla Produttività..... 33
2.2 Il Limite del Trasporto..... 36
2.3 I Tre Pilastri sul Contesto della costruzione Off-site..... 37
2.4 I vantaggi dei sistemi Off-site..... 38
2.5 I dieci Sistemi Costruttivi..... 38

03 La Scomposizione in Sistemi e Moduli per rispondere alla Sostenibilità

3.1 Impatti Ambientali degli Edifici..... 40
3.2 I sei Sistemi Edilizi secondo Stewart Brand..... 41
3.3 I Tre Componenti generali della Prefabbricazione..... 42
3.4 Griglie e Standardizzazione dimensionale..... 42
3.5 Dal Sistema chiuso al Sistema Aperto per conferire carattere..... 43

04 La Tecnologia dei Componenti e i loro Fissaggi in ottica di Dfd

4.1 Fondamenti su Produzione e Assemblaggio..... 44
4.2 I Principi della costruzione Stratificata a Secco..... 44
4.3 I Materiali e le potenzialità del Legno..... 46
4.4 I Sistemi a Telaio note generali..... 47
4.5 Metodi di lavorazione e Fissaggi..... 49

05 Le Prestazioni Fisiche e programmazione del Ciclo di Vita

5.1 L'approccio Active House..... 50
5.2 La Fisica del Sistema: Edifici energeticamente efficienti..... 53
5.3 Le Tempistiche delle costruzioni Off-site..... 55
5.4 Assemblaggio (DfA) vs Smontaggio (DfD)..... 56
5.5 La teoria della prefabbricazione applicata nella progettazione..... 57

Indice

CAPITOLO 03

Esplorazione del Mercato residenziale dell'edilizia prefabbricata, Wolf Haus e Rubner Haus

01 Inquadramento sulle prospettive attuali dell'utilizzo dei sistemi prefabbricati

1.1 L'accesso alla casa è sempre più costoso..... 58
1.2 La necessità di spazi contenuti..... 60
1.3 La voglia di maggior flessibilità e sport..... 62
1.4 La casa acquistata con un click..... 64
1.5 Disponibilità finanziaria per l'acquisto della casa..... 64
1.6 Osservazioni e ragionamenti..... 65

02 Wolf Haus

2.1 Le origini dell'azienda..... 66
2.2 I sistemi costruttivi e soluzioni tecnologiche..... 68
2.3 Il comportamento al sisma e incendi..... 70
2.4 Le case su catalogo..... 70
2.5 Le tempistiche di consegna e i costi..... 72
2.6 I riconoscimenti..... 72

03 Rubner Haus

3.1 Le origini dell'azienda..... 74
3.2 I sistemi costruttivi e soluzioni tecnologiche..... 76
3.3 La qualità delle materie prime..... 78
3.4 Abaco e catalogo estetica residenziale..... 78
3.5 Tempi di consegna e costi..... 80
3.6 I riconoscimenti..... 81

04 La risposta di Wolf e Rubner come fondamenta per l'elaborazione di una nuova alternativa

4.1 Conclusioni..... 83

CAPITOLO 04

DADO

01 Il sistema costruttivo

1.1 L'ispirazione 84
1.2 Le peculiarità di Dado 87

02 La struttura modulare

2.1 Il modulo 90
2.2 La trave principale su lato lungo del modulo 95
2.3 La trave principale su lato corto del modulo 97
2.4 La trave secondaria 98
2.5 Il pilastro 99
2.6 La staffa di ancoraggio modulo-fondazione 100

03 L'involucro edilizio

3.1 La struttura di fondazione Dado 101
3.2 La chiusura orizzontale inferiore Dado 104
3.3 L'elevazione verticale del telaio Dado 106
3.4 La chiusura verticale Dado 108
3.5 La partizione interna Dado 111
3.6 L'elevazione del telaio della chiusura superiore Dado 112
3.7 La chiusura superiore Dado 115
3.8 I ponti termici e le finiture esterne 118
3.9 Le finiture interne e la gestione degli impianti 120
3.10 Tolleranze di lavorazione e calibrazione degli incastri 123
3.11 Dettaglio in scala 1:50 del modulo 124
3.12 Dettaglio in scala 1:50 del telaio del modulo 126

04 La logistica degli elementi DADO

4.1 Il trasporto degli elementi Dado 128
4.2 La posa degli elementi Dado 130

05 La classificazione degli elementi DADO

5.1 Abaco degli elementi telaio Dado 132
5.2 Abaco degli elementi solaio Dado 133
5.3 Abaco degli elementi tamponamento Dado 134
5.4 Abaco degli elementi copertura Dado 136
5.5 Abaco degli elementi infissi Dado 136

Indice

CAPITOLO 05

Sperimentazioni con il sistema costruttivo prefabbricato "DADO"

01 Proposta di casa unifamiliare di 100 metri quadri - Villa Smeraldo

1.1 Le caratteristiche....141
1.2 Vista di Pianta....143
1.3 Viste dei prospetti: Sud - Nord....145
1.4 Viste dei prospetti: Ovest - Est....147
1.5 Viste di sezione: AA' - BB'....149
1.6 Viste nodo: Fondazione - Solaio - Parete vetrata - Copertura....151
1.7 Le fasi di montaggio....152
1.8 Abaco degli elementi Dado di Villa Smeraldo....166
1.9 Viste Render....172

02 Proposta di casa unifamiliare di 80 metri quadri - Dimora Rubino

2.1 Le caratteristiche....191
2.2 Vista di Pianta....193
2.3 Viste dei prospetti: Sud - Nord....195
2.4 Viste dei prospetti: Ovest - Est....197
2.5 Viste Render....199

03 Sintesi finale e Considerazioni personali

3.1 Conclusioni....210

Il presente elaborato è stato interamente redatto e scritto dall'autore. Gli strumenti di Intelligenza Artificiale Generativa (ChatGPT e Gemini) sono stati utilizzati esclusivamente in modalità passiva e di supporto, limitatamente alla traduzione di materiale bibliografico straniero, alla revisione orto-sintattica e formale di testi già scritti dall'autore, e come ausilio nella ricerca documentale delle fonti.

I testi, il contenuto concettuale, l'approccio progettuale, l'elaborazione dei dati e le conclusioni finali sono frutto del lavoro originale, critico e creativo dell'autore.

Le Esigenze che hanno Condotto lo sviluppo della Prefabbricazione

Le diverse esigenze modellano la concezione della prefabbricazione

In questo capitolo affronteremo il percorso evolutivo della prefabbricazione, guidato dalle necessità sempre differenti dell'uomo nel corso dei secoli. Questo sarà fondamentale per comprendere le origini dei diversi sistemi e perché differiscono fra loro e come questi portano con se problematiche o vantaggi. Scopriremo le figure che hanno dibattuto sul tema, le loro proposte e idee, e come le masse hanno reagito alle varie proposte.

In fine, trasformeremo queste vicende in bagaglio culturale utile per i successivi ragionamenti.

01
Prime esperienze di prefabbricazione

La prefabbricazione deriva dall'edilizia antica dei templi classici e da sempre è stata concepita per via di necessità in precisi momenti storici, come la necessità di realizzare opere in contesti sconosciuti, nei quali non sono presenti materie prime e personale direttamente reperibile, oppure vi è la necessità di realizzare molteplici abitazioni o fabbricati in un lasso di tempo esiguo e con costi contenuti, difficilmente fattibile mediante soluzioni tradizionali[1]. Il processo porta lo studio del design nelle fabbriche, ridimensionando il ruolo di ingegneri, architetti e operai, secondo Colin Davies infatti questo genererà una frattura fra la pratica professionale dell'architetto e la rigidità della produzione industriale[2].

1.1 Le difficoltà riscontrate durante la colonizzazione Britannica

In particolare, durante l'espansione globale del Regno Unito fra il XVII e XIX secolo, il popolo inglese si imbatté in un problema riscontrato molteplici volte, ovvero la mancanza di risorse direttamente accessibili nei nuovi territori esplorati e la mancanza negli stessi di manodopera specializzata. Questo portò alla necessità di produrre in patria i componenti e trasportarli già preparati via mare. Per questa ragione la maggior parte delle competenze derivava da uomini che avevano conoscenze e abilità dei cantieri navali, sulla produzione mediante telaio ligneo di navi e imbarcazioni, dato che conoscevano molto bene il materiale e come impiegarlo al meglio[3]. Degli esempi, furono gli ospedali prefabbricati per il New South Wales nel 1790, oppure il Manning Portable Cottage nel 1830 progettato dal carpentiere John Manning per gli emigranti in Australia (Fig. 01.01.1), il sistema era scomposto in moltissimi singoli elementi

[1] Smith R. E. (2010), *Prefab architecture. A guide to modular design and construction.* Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons, pp. 3, 5, 7, 9.
[2] Davies C. (2005), *The Prefabricated Home.* Londra: Reaktion Books Ltd, pp. 202.
[3] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 5-6.

leggeri come pali scanalati e capriate intercambiabili spostabili e assemblabili, solamente da un solo uomo e da una chiave inglese. Queste soluzioni gettarono le basi per le abitazioni americane che contraddistinguono il paesaggio ancora oggi[4].

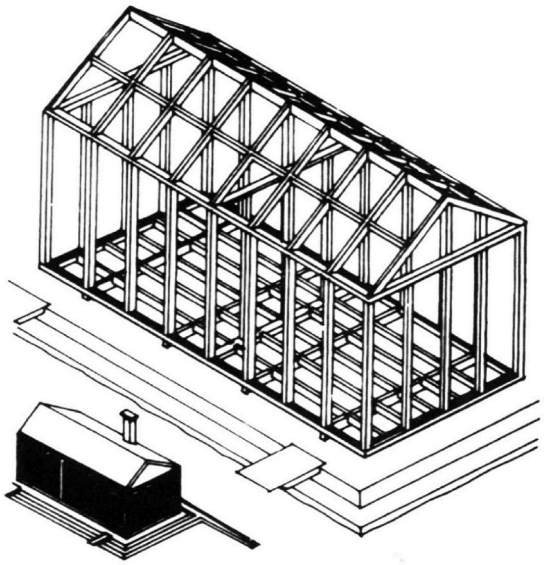


Fig. 01.01.1 - *A*ssonometria del Manning Portable Cottage. *(Smith 2010, p. 6).*

1.2 L'economicità e la velocità garantita dal sistema industriale nelle fonderie

In parallelo all'impiego intensivo del legno, si sviluppò l'uso del ferro e della ghisa, e ciò segnò il passaggio dalle tecniche artigianali a quelle industriali. Il fabbricato viene così riprogettato, scomponendo l'edificio in più componenti edilizi detti "kit-of-parts", ovvero delle porzioni dello stesso pensati per rendere assemblabile il manufatto in un secondo momento. Per esempio, alcuni componenti come travi, architravi, colonne vengono fusi in stampi nelle fonderie, così da prepararli a uno a uno in modo standardizzato. Lo scopo è di permettere un'economia di massa, rendendo il sistema molto più economico e rapido rispetto al tradizionale[5]. Nel 1832 Richard Walker ebbe l'intuizione di piegare il metallo, questo per sfruttare la rigidità conferita per forma dell'elemento. L'idea diede origine al ferro ondulato, che venne molto impiegato per l'economicità della soluzione, ad esempio per coperture durevoli (Fig. 01.01.2).



Fig. 01.01.2 - Una delle più comuni applicazioni delle coperture di ferro ondulato. *(Smith 2010, p. 9).*

Il metallo ebbe anche molto successo per via dell'impiego della zincatura a caldo come finitura, che risolse il problema della corrosione[6]. Un famoso esempio di standardizzazione architettonica mediante il ferro è il Crystal Palace nel 1851 di Joseph Paxton (Fig. 01.01.3), formato da tantissimi elementi costruttivi uguali, dimostrando che è possibile fare opere estetiche anche con elementi prefabbricati in tempi esigui se confrontati con soluzioni tradizionali e con un'ottimizzazione delle risorse.



Fig. 01.01.3 - Schizzo preliminare del Crystal Palace di Joseph Paxton 1851. *(Di Micco 2010, p. 14).*

[4] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 5-9.

[5] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 25-26; Di Micco S. (2010), *La casa prefabbricata. Lo sviluppo dell'architettura industrializzata tra tecnica e sostenibilità*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore, p. 12.

[6] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 22, 41.

Il ferro, inoltre, come il legno si presta molto alla realizzazione di componenti trasportabili, superando problemi logistici verso le colonie, utile per realizzare chiese, teatri, pub, caserme, stazioni, mulini, palazzi[7]. Tuttavia, la necessità di esportare questi componenti prefabbricati subì un progressivo declino con il consolidamento e la stabilizzazione delle industrie edilizie locali. Queste ultime furono presto in grado di garantire soluzioni abitative permanenti e decisamente più vivibili rispetto ai manufatti in sottile lamiera metallica, orientando nuovamente il mercato verso strutture più massicce e radicate al territorio[8].

1.3 L'abbondanza di risorse e l'esigenza di residenze economiche in America

Gli Stati Uniti fu testimone dell'abbondanza del legno e la necessità di alloggi economici, questo contesto diede spazio allo sviluppo del sistema balloon frame (Fig. 01.01.4), la cui invenzione fu attribuita ad Augustine Taylor per la realizzazione vicino a Chicago della St. Mary's Church nel 1833 a Fort Dearborn.

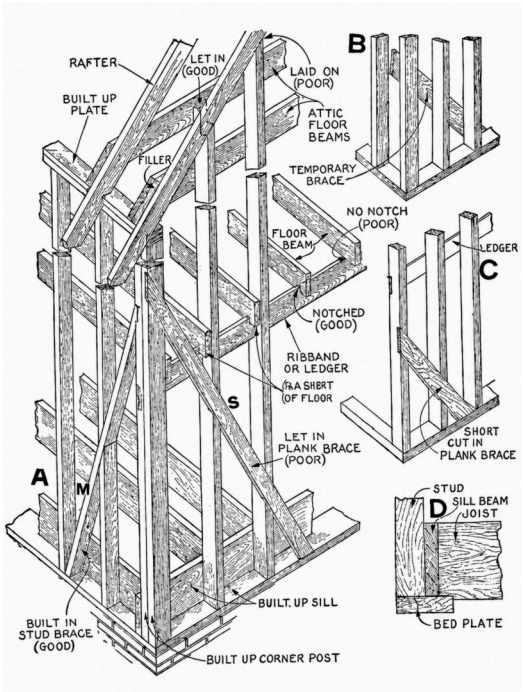


Fig. 01.01.4 - Il sistema balloon frame. *(Knaack 2012, p. 17).*

[7] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 8, 41.
[8] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 5, 9, 14, 37.

Il sistema venne ampiamente impiegato a Chicago, infatti furono costruite a una velocità incredibile circa centocinquanta case in una stagione, anche se in seguito, nel 1871 la città subì un poderoso incendio[9]. Il sistema ne risentì più a livello sociale che pratico; infatti, il concetto di abitazione prefabbricata non era ancora accettato dalle masse. Di conseguenza per rendere la soluzione popolarmente accettata, la struttura veniva occultata da facciate tradizionali. Lo stesso nome balloon frame che significa "struttura a pallone" deriva dai costruttori tradizionali come denigrazione, paragonando la leggerezza della struttura a un pallone aerpstatico che vola via alla prima raffica di vento, dato che sembrava poco solida e resistente anche se la pratica dimostrò il contrario (Fig. 01.01.5).

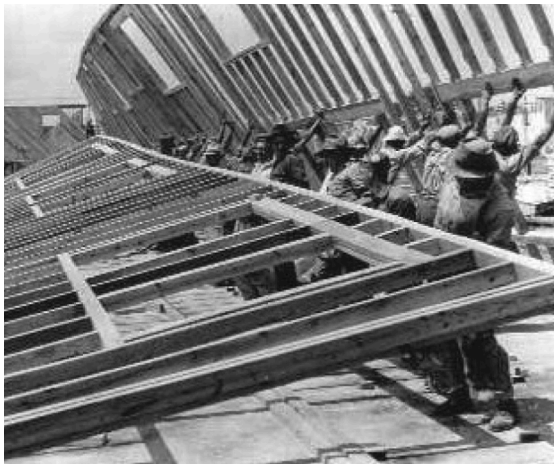


Fig. 01.01.5 - Erezioni delle pareti balloon frame. *(Davies 2005, p. 45).*

Per ovviare al pregiudizio si optò per un'estetica tradizionale così da non far emergere il preconcetto sociale[10]. Con l'incremento della produzione di chiodi e l'introduzione delle segherie meccanizzate a vapore, la produzione industriale in massa si intensificò. Una delle aziende di rilievo fu Aladdin Homes che nel 1906 fu pioniero del sistema "Readi-Cut", il quale permise di ottimizzare lo scarto del taglio del legno in fabbrica e la precisione, rendendo l'assemblaggio così semplice da evitare l'uso di montatori specializzati. Nonostante l'enor-

[9] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 7.
[10] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 7, 11, 43, 97.

me fortuna, dovuta anche al grandissimo numero di soluzioni proposte su catalogo che permisero di assolvere le richieste di una gran moltitudine di clienti, Aladdin Homes e altri fornitori fallirono in seguito al calo della domanda e per via della crisi abitativa negli anni Venti e Trenta (Fig. 01.01.6)[11].

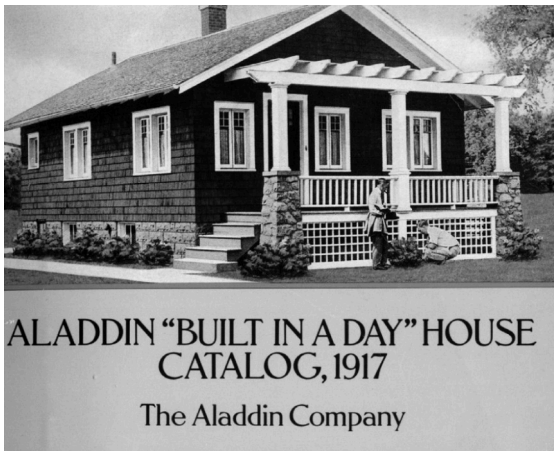


Fig. 01.01.6 - Catalogo della Aladdin Company del 1917. *(Smith 2010, p. 10).*

[11] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 7, 9-10, 41.

02
La prefabbricazione come soluzione all'emergenza abitativa

2.1 La casa in serie: il fordismo

Durante il primo Novecento lo svilupparsi di una società industriale e le nuove esigenze della società modificarono profondamente anche il mondo delle costruzioni e dell'architettura. Questa evoluzione rispondeva ad un esponenziale aumento demografico nelle città portando inevitabilmente alla crescita di domanda di alloggi a basso costo. Molte figure di rilievo iniziarono a immaginare l'abitazione sotto una nuova veste, più come prodotto industriale atto a servire l'uomo, come l'automobile, fra di essi Walter Gropius e Le Corbusier[12]. I progettisti si ispirarono a soluzioni derivanti dal mondo automobilistico dal punto di vista produttivo e funzionale analizzando le idee Fordiste di Henry Ford. Fra i principi da lui teorizzati vi è la standardizzazione dei componenti, l'intercambiabilità degli elementi e un sistema organizzativo basato sulla catena di montaggio. L'intenzione è di puntare sulla produzione di massa mediante mansioni ripetitive, riducendo in modo sostanziale i tempi di esecuzione e i costi, e allo stesso tempo realizzando elementi versatili in diverse situazioni[13]. Questi criteri poi trasferiti nel settore edilizio hanno permesso di assolvere alla domanda abitativa a basso prezzo, ma hanno anche creato un abbassamento di qualità lavorativa per il senso di alienazione percepito dai lavoratori (Fig. 01.02.7), oltre che monotonia dei paesaggi urbani e scarsa qualità a lungo termine, decretando nel lungo periodo il fallimento sociale di questo modello. Un esempio che infatti ebbe successo dato che propose unità abitative basate sulla prefabbricazione industriale e sulla standardizzazione edilizia ma senza perdere la variabilità architettonica fu l'azienda Sears Roebuck. Essa vendeva kit completi acquistabili su catalogo e i vari componenti erano tutti tagliati da macchinari riducendo in modo netto i costi di manodopera. Ebbe successo non solo per il prezzo competitivo, ma anche perché l'azienda offriva soluzioni di stile tradizionale molto apprezzate dal pubblico[14].

[12] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 27-31.
[13] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 11.
[14] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 10-12.

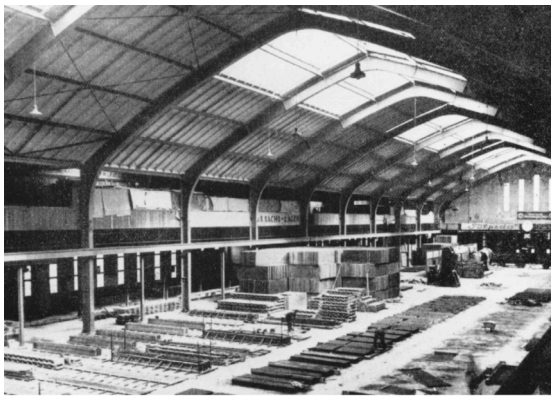


Fig. 01.02.7 - Stabilimento produttivo di pannelli da costruzione nel 1928. *(Staib 2008, p. 24).*

2.2 Mies van der Rohe, Walter Gropius e Le Corbusier

Al contrario, gli architetti moderni adottarono un approccio più teorico e basato sulla ricerca della perfezione maniacale delle connessioni o dei componenti stessi, andando così a realizzare soluzioni compositive troppo lontane dalla tradizione, e spesso economicamente troppo costose o difficoltose da realizzare. Queste scelte guidarono i loro progetti al fallimento. Ne sono un esempio Walter Gropius & Konrad Wachsmann che dopo estenuanti ricerche sulla perfezione delle connessioni meccaniche, ottennero brevetti su soluzioni troppo costose e non di particolare interesse per il pubblico. Si spinsero verso un sistema geometricamente astratto basandosi su calcoli matematici, come griglie immaginarie non visibili o percorribili in cantiere[15]. Mies van der Rohe sfruttò invece la precisione industriale come marchio di lusso, però il mercato di lusso è difficoltoso da coltivare sulla base di soluzioni standardizzate. È per questa ragione che si rifiutò di sottostare alle rigide imposizioni condotte da una produzione industriale, ma la impiegò per scomporre il telaio strutturale dell'abitazione dai tamponamenti, grazie alle sue esperienze derivanti dal Giappone[16]. Un approccio ancora più radicale è stato quello di Le Corbusier, teorizzando il concetto di macchina per abitare, ispirandosi all'estrema funzionalità di aerei o automobili; tuttavia, questo pensiero portò inevitabilmente a soluzioni troppo lontane dall'abitazione calda e accogliente desiderata dalle masse, oltre al fatto che offriva una possibilità di personalizzazione molto esigua (Fig. 8)[17].



Fig. 01.02.8 - Le case di Pessac stravolte dagli abitanti, infatti furono aggiunte falde dai proprietari stessi. *(Davies 2005, p. 18).*

2.3 Richard Buckminster Fuller e Jean Prouvé

Nel frattempo, altri autori hanno condiviso la visione di concepire l'abitazione secondo logiche automobilistiche, navali o aeronautiche seppur con differenti declinazioni operative. Richard Buckminster Fuller, per esempio, più vicino a un ingegnere autodidatta, immaginò la casa come riparo leggero e flessibile anziché come una massa pesante; sfruttando i principi della trazione strutturale e della tecnologia aeronautica presentò diversi prototipi come La Dymaxion House nel 1928 (Fig. 01.02.9) o La Wichita House nel 1944 (Fig. 01.02.10)[18]. Quest'ultima fu l'abitazione tecnicamente più avanzata al mondo, così leggera da essere trasportabile da un solo camion e assemblabile in un giorno, ma estremamente resistente come un aereo tanto da resistere a un uragano; anche se era realizzata in alluminio come i velivoli, la sua forma aerodinamica gli conferiva minori dispersioni. A lui si deve il merito di aver reso

[15] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 19, 24.
[16] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 30, 44.
[17] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 13, 16-18, 23; Di Micco S. (2010), op. cit, p. 13.
[18] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 25-27.

popolari le cupole geodetiche e le strutture spaziali, impiegate ancora oggi nell'architettura contemporanea (Fig. 01.02.11)[19].

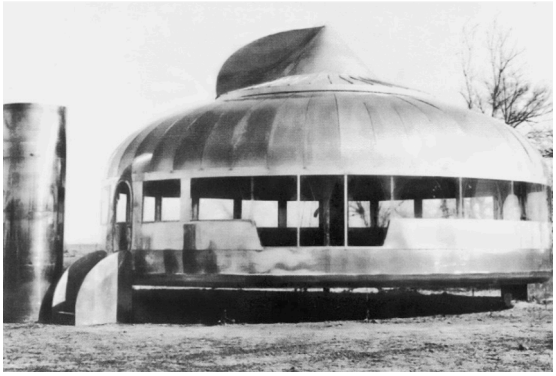


Fig. 01.02.9 - La Dymaxion House del 1928. *(Smith 2010, p. 33).*



Fig. 01.02.10 - La Wichita House del 1944. *(Davies 2005, p. 28).*

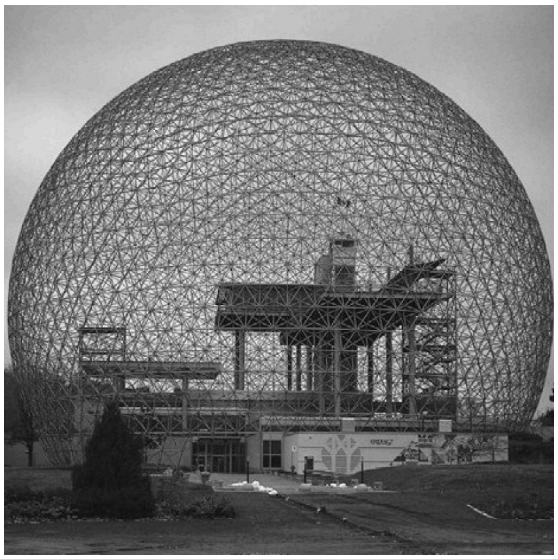


Fig. 01.02.11 - Padiglione dell'Expo di Montreal del 1967. *(Staib 2008, p. 31).*

[19] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 25-27.

Un altro precursore fu Jean Prouvé, grazie alla sua esperienza da artigiano del metallo, si dedicò alla tecnica di piegatura a freddo delle lamiere (Fig. 01.02.12); nel dopoguerra, infatti, si puntò a convertire le fabbriche belliche in catene di montaggio per abitazioni, impiegando lamiere metalliche industriali; una dimostrazione sono le case di Meudon[20]. Eppure, anche in questi casi l'utenza non accettava l'abitazione in metallo, percepita come fredda per via di ponti termici e problematiche di surriscaldamento, che la rendevano invivibile dal punto di vista del comfort climatico[21].



Fig. 01.02.12 - La Maison tropicale di Jean Prouve del 1954. *(Knaack 2012, p. 31).*

2.4 La necessità di ricostruire nel dopoguerra

Fra gli anni Quaranta e Sessanta, l'Europa, teatro del secondo conflitto mondiale, risentì enormemente dei danni al patrimonio abitativo. La situazione fu aggravata dal rientro in patria di milioni di veterani, il che comportò un'esponenziale richiesta di alloggi in pochissimo tempo. Poiché la maggior parte delle fabbriche aveva subito pochi anni prima una conversione dalla produzione civile a quella bellica, sia nel Regno Unito che negli Stati Uniti si tentò di impiegare le capacità di questi impianti per la produzione in serie di residenze. In Inghilterra, un'azienda che seguì questa strada è la casa Airoh, essa prima produceva aerei Spitfire poi si dedicò a realizzare alloggi con un volume di più di 50.000 unità (Fig. 01.02.13)[22].

[20] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 33-34.
[21] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 18, 48.
[22] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 13-15, 32, 45.



Fig. 01.02.13 - Presentazione di un'abitazione progettata dalla Airoh. *(Davies 2005, p. 62).*

Anche gli Stati Uniti presero molto seriamente la problematica e approvarono mandati per produrre 850.000 unità prefabbricate nel giro di pochi anni, un'azienda di rilievo in questo scenario fu la Lustron Corporation, ma nonostante gli sforzi di conversione anche i suoi progetti fallirono per i problemi termici causati dal materiale metallico impiegato e i costi elevati (Fig. 01.02.14)[23].



Fig. 01.02.14 - Una abitazione progettata dalla Lustron Corporation. *(Davies 2005, p. 58).*

Mentre il mercato delle residenze fisse tentennava, ebbe molto successo invece il mercato delle Case Mobili (Fig. 01.02.15), soprattutto grazie alla possibilità di circolare con una larghezza di ben 3 metri o più, anche se nella pratica venivano spostate una sola volta dalla fabbrica al sito. Gli industriali di questo settore puntarono subito sulle richieste delle masse, evitando soluzioni complesse e costose e proposero un semplice telaio metallico come struttura e prevedendo la volontà di abitare in una residenza tradizionale, lo nascosero con un rivestimento ligneo esternamente e internamente[24]. Il grande vantaggio fu che poggiando su di esso, queste abitazioni non subivano i consueti vincoli normativi edilizi locali, rendendole immuni a impedimenti burocratici, con conseguente riduzione importante dei costi. Una strategia vincente adottata fu la realizzazione di parchi dedicati ad esse con piscine e servizi comuni, garantendo un posto sicuro per risiedere dopo l'acquisto[25].



Fig. 01.02.15 - Una casa mobile vicino a Salt Lake City nel 1970. *(Smith 2010, p. 15).*

2.5 Le criticità dei sistemi industrializzati

Se da un lato la produzione industriale fu sinonimo di efficienza produttiva e di risparmio su costi e tempi, dall'altro fu anche la causa del tracollo sul piano sociale, promuovendo mansioni insostenibili a lungo termine. Il modello però era estremamente funzionale per quei settori nei quali il fine è la produzione di oggetti che hanno un'unica finalità, ovvero la funzionalità, ma l'abitazione non assolve solo quello scopo, è anche testimone del carattere e della personalità dell'occupante, ha la necessità di adattarsi al contesto nel quale verrà posta, deve rispondere a un'identità; quindi, è un sistema molto più complesso che un'auto o un aereo dal punto di vista del suo impiego (Fig. 01.02.16). Affermare che l'abitazione deve rispondere al solo requisito funzionale è una semplificazione troppo grande, che ha portato alla perdita del consumatore, anche se inizial-

[23] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 13-14, 40-41.

[24] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 10, 15-17.

[25] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 15-17.

mente è sembrata la strada giusta per via dell'emergenza abitativa del dopoguerra[26].

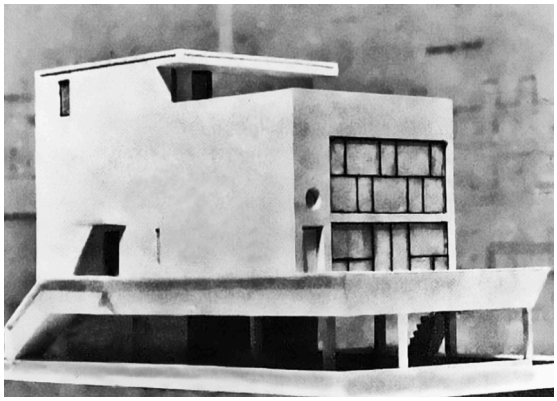


Fig. 01.02.16 - Citrohan House concepita come "macchina per vivere" da Le Corbusier. *(Smith 2010, p. 30).*

Inoltre, al cliente poco importava della complessità tecnologica, a quest'ultimo bastava che la casa fosse semplice, funzionale, confortevole, con tratti tradizionali tipici dei luoghi ma con tratti distintivi, solida, sicura, pratica, facile da mantenere e curare, poco costosa ma allo stesso tempo durevole e che garantisse il mantenimento del suo valore nel tempo[27]. Il paradosso degli architetti moderni è stato di conciliare l'arte della composizione architettonica con l'intento di lasciare la propria impronta; con la competitiva produzione di massa che ha imposto delle regole difficili da aggirare; invece, le aziende che nello stesso periodo hanno completamente ignorato la gestione estetica e la perfezione concentrandosi su fattibilità, economicità e tempi hanno avuto un successo senza paragoni[28].

[26] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 11, 30-31, 40, 43, 45, 67.
[27] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 31, 41, 43, 45, 67.
[28] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 10, 43, 40.

03
La volontà di cercare identità attraverso la prefabbricazione

3.1 Il desiderio di dare nuovamente carattere alle città

La necessità di rispondere all'emergenza di residenze economiche, fece sì che predominassero soluzioni seriali portando all'inevitabile alienazione dei luoghi. Con il calo di questa necessità ritornò la volontà di ritrovare l'individualità perduta, così mentre aziende continuavano a sfornare abitazioni di serie, gli architetti immaginarono nuove declinazioni e possibilità con la prefabbricazione. Spesso però le idee furono così estreme da non poter mai essere realizzate e rimanere delle vere e proprie provocazioni, quasi come un tentativo disperato di risvegliare nelle masse il senso critico e la volontà di cambiare rotta. Le case prefabbricate cessano così di essere un prodotto di massa e diventano prototipi dimostrativi, chiaramente perdendo il vantaggio della produzione in serie[29]. L'opera simbolo è Habitat '67 progettato da Moshe Safdie (Fig. 01.03.17), presentato all'esposizione di Montreal nel 1967, dimostrò al mondo la volontà di innovare. Venne reinventato il condominio, realizzando una serie di moduli prefabbricati in cemento armato assemblati fra loro (Fig. 01.03.18), diventando un complesso che comprendeva 158 case realizzate con 354 unità modulari di 18 tipologie diverse[30]. I moduli impilati in modo irregolare davano vita a dei

[29] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 11, 34-35.
[30] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 35-36.

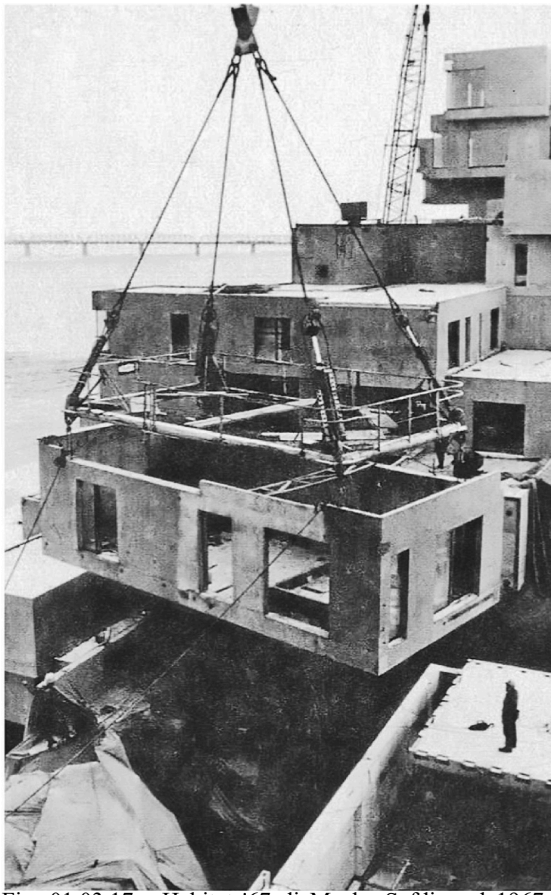


Fig. 01.03.17 - Habitat '67 di Moshe Safdie nel 1967. *(Smith 2010, p. 36).*

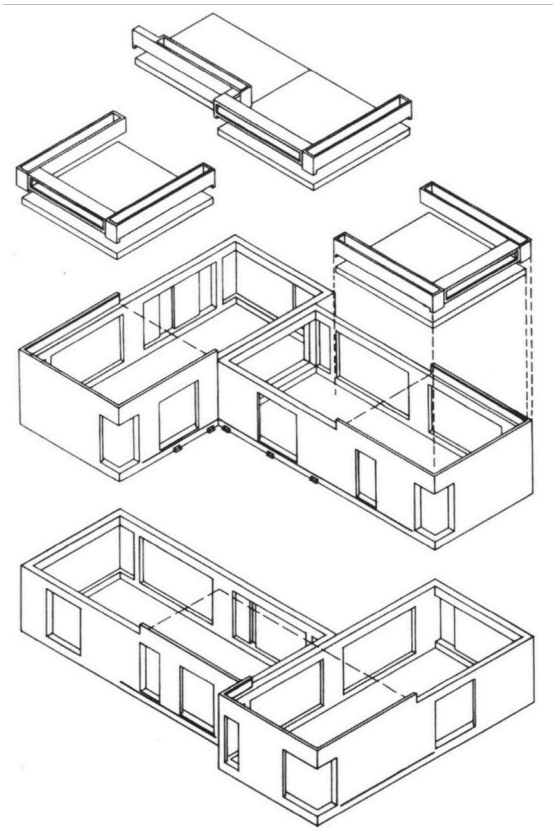


Fig. 01.03.18 - I moduli in cemento armato prefabbricato di Habitat '67. *(Smith 2010, p. 36).*

vuoti voluti per giardini pensili e terrazze per i residenti, ma il problema principale che afflisse la proposta fu che i blocchi pesavano troppo, inoltre essendo concepiti di diverse tipologie non offrivano il vantaggio economico della produzione in serie, di conseguenza divenne costosissimo e complesso nella realizzazione[31].

3.2 Le nuove visioni dei Metabolism e Archigram

Fra i pionieri di queste nuove idee emergono i gruppi Metabolism in Giappone e Archigram nel Regno Unito. L'abitazione viene stravolta in modo radicale, paragonandola a un essere vivente, con una struttura che deve rimanere intoccata per tutta la vita del manufatto e parti che invece possono cambiare nel tempo ed essere sostituite, esattamente come le foglie di un albero che cadono e si rigenerano nel corso delle stagioni, diventando così idealmente un organismo dinamico. Questi pensieri si concretizzarono con la Nakagin Capsule Tower nel 1972 a Tokyo, composta da un fusto centrale principale e delle capsule sostituibili installate su di esso (Fig. 01.03.19).



Fig. 01.03.19 - Nakagin Capsule Tower completata. *(Di Micco 2010, p. 21).*

[31] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 35-36, 40-41.

Tuttavia, operativamente le capsule non furono mai rimosse a causa dei costi di smontaggio rendendo il complesso oggi obsoleto[32]. Gli Archigram, di contro, presentarono megastrutture tecnologiche che rimasero principalmente sulla carta, come le Walking Cities o le Plug-in Cities (Fig. 01.03.20), dal momento che il gruppo non dimostrò mai come poterle effettivamente realizzare dal punto di vista costruttivo[33].

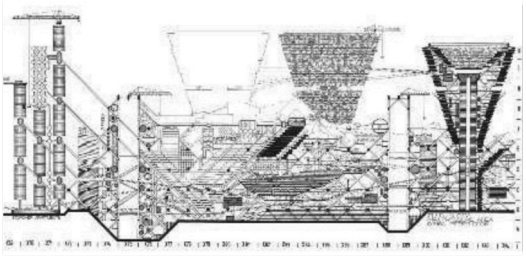


Fig. 01.03.20 - Plug-in Cities concepita da Archigram. *(Davies 2005, p. 40).*

In generale, questi modelli di megastrutture dinamiche sono rimasti principalmente sulla carta e teorici per molteplici ragioni: l'eccessivo affidamento sulla tecnologia e sull'utopia rese impossibile la replica in serie rendendo il prodotto costosissimo. Queste scelte condussero inevitabilmente a non rendere competitivi i sistemi perdendo l'accettazione delle masse, distratte da chi proponeva loro le reali soluzioni ai loro problemi[34].

3.3 La prefabbricazione High Tech

L'eredità di queste utopie urbane, in particolare i disegni provocatori degli Archigram basati su tubazioni a vista, gru e strutture meccaniche, gettò le basi per la nascita dell'High-Tech alla fine degli anni Sessanta, la visione radicale fu di concepire la prefabbricazione come uno stile piuttosto che un mezzo per ottenere residenze a basso costo, lasciando che le componenti

[32] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 34-36; Davies C. (2005), *op. cit.*, p. 40-41.

[33] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 34-35; Davies C. (2005), *op. cit.*, p. 40-41.

[34] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 34-36, 45; Davies C. (2005), *op. cit.*, p. 40-44, 98-99.

dell'edificio vengano messe in mostra piuttosto che nascoste, vedendole come una peculiarità. Il paradigma comprende quindi una onestà di espressione e nella verità dei materiali[35]. Rappresentanti di queste idee furono Richard Rogers e Norman Foster, fra i loro progetti vi sono prototipi di case per una produzione di massa ma che concretamente non ebbe mai luogo. Un modello è la Zip-up House (Fig. 01.03.21), definito come sottomarino giallo su gambe rosa, era composta da pannelli sandwich di alluminio molto isolanti, presenta delle vetrate all'estremità e la particolarità è che i divisori interni sono fissati pneumaticamente quindi spostabili in ogni punto. La struttura poggiava su gambe regolabili per renderla adattabile a qualsiasi tipo di terreno, essa è ispirata alle case veicolo di Buckminster Fuller[36].

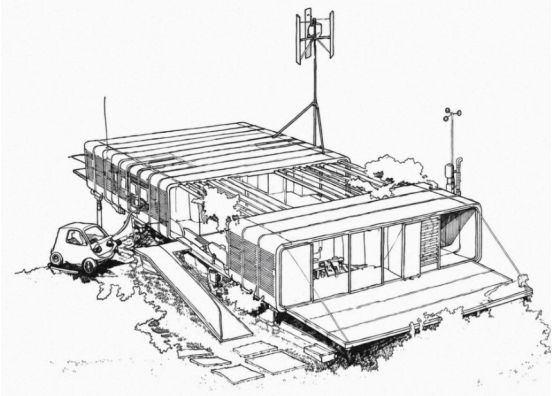


Fig. 01.03.21 - Zip-up House progettata da Richard Rogers. *(Davies 2005, p. 37).*

Un secondo progetto è la Hopkins House del 1975, la sua particolarità è che è realizzata con elementi metallici e lamiera grecata, il sistema è nel complesso molto simile a un set meccano. Le strutture erano a vista come le controventature dato che l'involucro godeva di notevole trasparenza e leggerezza[37].

L'opera che trasmette in modo inequivocabile lo spirito dell'High Tech è il Centre Pompidou a Parigi, progettato da Renzo Piano all'inizio della sua carriera assieme a Richard Rogers, gli impianti si trovano all'esterno dell'edificio completamente a vista, così come le strutture, garantendo totale libertà spaziale all'interno del complesso, infatti non è presente neanche un pilastro all'interno (Fig. 01.03.22) (Fig. 01.03.23)[38].



Fig. 01.03.22 - Centre Pompidou a Parigi, progettato da Renzo Piano e Richard Rogers. *(Smith 2010, p. 39).*



Fig. 01.03.23 - Prospetto del Centre Pompidou con la scala mobile esterna. *(Staib 2008, p. 37).*

Le basi del movimento poste sul concepire la prefabbricazione come stile furono la condanna dello stesso, la volontà di distinguersi come architetti offrendo prototipi dimostrativi non ha

[35] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 36-41, 96-98.
[36] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 36-37.
[37] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 38.
[38] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 38-39.

condotto a seguire i principi della produzione di massa, al contrario gli architetti dell'High Tech hanno trasformato la prefabbricazione in uno stile visivo rendendo i componenti troppo specifici e costosi. La volontà di differenziarsi da ciò che proponeva il mercato proponendo metallo, vetro e tetti piani vicino ad un'estetica appunto industriale, fece sì che le masse ne presero le distanze[39].

[39] Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 36-44.

04
Nuove esigenze sociali e ambientali indirizzano la prefabbricazione verso nuovi paradigmi

4.1 L'emergere della consapevolezza ambientale

Durante gli anni Ottanta emerse un fenomeno totalmente nuovo fino ad allora, ovvero l'attenzione verso le conseguenze antropiche sull'ambiente e la conseguente crisi climatica, mettendo ancora più in discussione la mentalità fordista, basata sull'iperproduzione di bassa qualità e giudicata non più sostenibile nel lungo termine. Non solo la prefabbricazione di massa ma anche la costruzione tradizionale in cantiere comporta gravi ripercussioni, così che numerose aziende che si occupavano di prefabbricazione cambiarono rotta, proponendo modelli meno energivori per valorizzare la propria immagine. Di conseguenza l'architettura contemporanea si dovette riadattare per trovare soluzioni alle nuove sfide, puntando maggiormente sulla qualità sebbene ciò comporti un costo. La consapevolezza nasce dai dati preoccupanti sull'impatto del settore, emersi nel 1987 con il rapporto Brundtland della Commissione Mondiale dell'ambiente e lo sviluppo, nel quale venne accolto l'uso razionale dell'energia, la produzione di materiali da costruzione, la riduzione degli inquinamenti, dato che l'edilizia consumava il 42% dell'energia e produceva il 35% dei gas serra[40]. Il fenomeno fece sì che si introducessero una serie di norme e regole per imporre nuovi standard abitativi costantemente più performanti; la prefab house avrebbe avuto un ruolo chiave nel conciliare comfort e qualità a prezzi ragionevoli, oltre che offrire la velocità di impiego come quasi un qualsiasi altro prodotto di consumo. La società, progressivamente orientata verso la velocità e la comodità, predilige soluzioni chiavi in mano; ciò è dimostrato dall'aumento delle richieste di abitazioni acquistate direttamente dai siti online, vendute in kit di montaggio e consegnate a domicilio come un qualsiasi mobile. Inoltre, i clienti chiedono trasparenza sul prezzo finale senza imprevisti. D'altro canto, questo cambiamento comporta note negative sugli aspetti architettonici, ovvero il rapporto edificio-contesto. Spesso si opta per soluzioni semplici allo scopo di agevolare la facilità delle connessioni e ridurre il costo finale, così da compensare il maggior investimento nei confronti di isolamento e sistemi energeticamente efficienti, riconducendo il tutto a forme come il rettangolo o il quadrato: la casa intesa come modello scatola o come le abita-

[40] Di Micco S. (2010), *op. cit.*, pp. 22.

zioni vernacolari tipica del Nord Europa, riprodotte in modo analogo in qualsiasi parte del mondo, portando a una perdita di identità del territorio (Fig. 01.04.24). Un'abitazione, dato che è il luogo in cui si passa gran parte della propria vita, nasconde in sé un senso di appartenenza, generato da componenti psicologiche e affettive, sociali e culturali. L'architetto, oltre ad assolvere l'urgenza della salvaguardia ambientale, è chiamato a conciliare estetica e identità dei luoghi, comfort, velocità, benessere, comodità, tecnologia ed economicità, un equilibrio sempre più difficile da mantenere[41].



Fig. 01.04.24 - La LV Series Home di Rocio Romero, esempio di casa-prodotto minimalista con estetica industriale e "scatolare" *(Smith 2010, p. 257)*.

4.2 La rivoluzione condotta dalla Mass Customization

Il grande salto di qualità venne garantito da un'enorme evoluzione in termini tecnologici, a livello di macchinari e di digitalizzazione nella progettazione. Rispetto al passato e al modello fordista, dove la produzione di massa dello stesso elemento contribuiva in modo decisivo ad abbattere i costi, con l'avvento dei sistemi CNC, la possibilità di variabilità dei componenti aumentò drasticamente. Questo ha permesso di offrire molto più margine in termini di variabilità, comportando costi di lavorazione poco maggiori; in parallelo, la digitalizzazione CAD/CAM ha permesso di tradurre informazioni digitali in istruzioni alle macchine capaci di produrre output diversi[42]. Il modello di modularità ora si basa su componenti base, sui quali vengono apportate leggere modifiche, come su lunghezza, larghezza o altezza, ma mantenendo lo stesso modulo, oppure sul mantenere una stessa struttura base sulla quale connettere diversi elementi (Fig. 01.04.25), però il tutto deve condividere la stessa logica di connessione (Fig. 01.04.26).

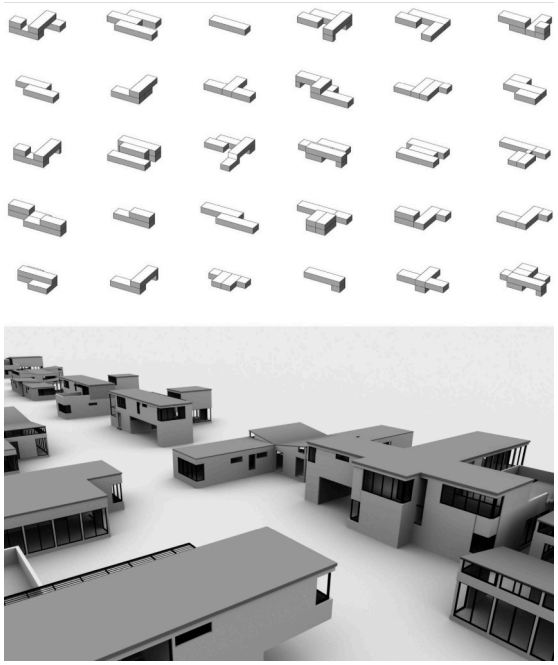


Fig. 01.04.25 - Sistema "Modern Modular" che mostra una serie di moduli base predeterminati che possono essere configurati in decine di modi diversi per adattarsi alle richieste del cliente. *(Smith 2010, p. 259)*.

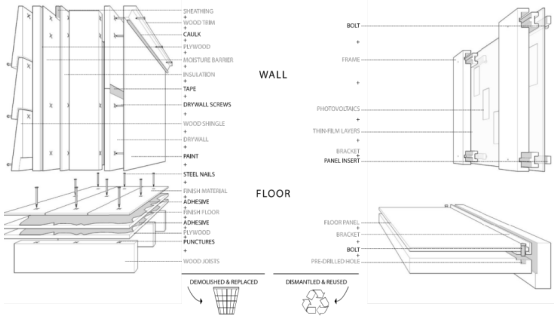


Fig. 01.04.26 - Connessioni che garantiscono il montaggio e lo smontaggio. *(Smith 2010, p. 186)*.

Principio simile è applicata agli infissi che, anche se variano dimensionalmente, mantengono la stessa soluzione di vetro e profilo[43]. Questo

[41] Di Micco S. (2010), *op. cit.*, pp. 150.

[42] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 18, 67-70; Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 98, 142-147, 204.

[43] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, p. 183-184; Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 144-147, 163.

ha permesso di realizzare prodotti più su misura per il cliente, così che la Mass Customization ha potuto fare riferimento al modello Lean Production del sistema Toyota, che consiste nell'eliminare gli eccessi, realizzando solo residenze su ordinazione diretta, evitando sprechi dovuti a previsioni errate di scorte di materiale. Questo sistema ha comportato inevitabilmente una stretta collaborazione fra progettisti e produttore, obbligando chi architetti a conoscere bene i processi produttivi, con le loro potenzialità e i loro limiti[44].

4.3 Un nuovo sistema di lavoro integrato: il BIM

La digitalizzazione ha successivamente subito un ulteriore passo avanti, introducendo un nuovo sistema di lavoro, il BIM (Building Information Modeling); esso permette di far dialogare diversi progettisti in un'unica piattaforma condivisa garantendo l'interoperabilità con altri software. Si basa sulla scomposizione delle tre discipline: architettura, struttura e impianti. I tre modelli saranno visualizzati insieme in un unico file di coordinamento; ciò offre un vantaggio cruciale, ovvero visualizzare le interferenze fra le parti e risolvere in anticipo eventuali problemi che altrimenti si sarebbero verificati in cantiere con la conseguenza di adeguamenti costosi (Fig. 01.04.27).

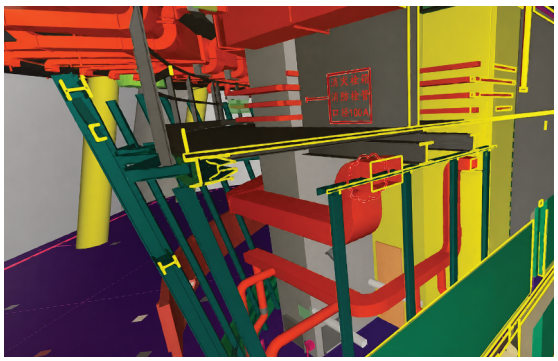
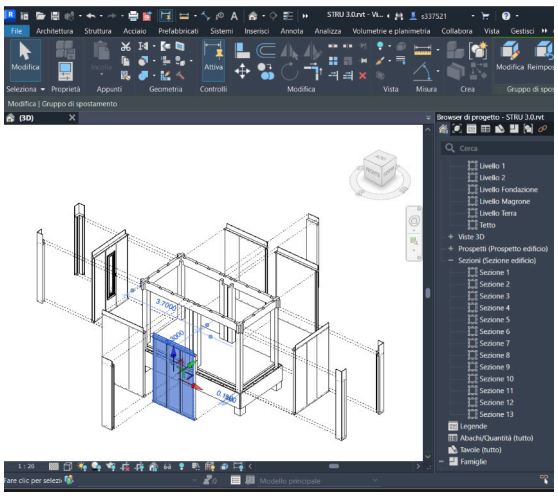


Fig. 01.04.27 - Gestione delle interferenze impiantistiche sul modello BIM. *(Imperadori 2019, p. 214).*

Quindi garantisce una maggiore padronanza del progetto tenendo sotto controllo le variabili, e offrendo in contemporanea visione geometrica 3D e informativa del manufatto, utilissimo per lo studio delle varie fasi: gestione, manutenzione, uso e fine vita del manufatto edilizio. L'approccio offre un alto grado di controllo, permette di gestire grandi quantità di informazioni, e apre alla possibilità di studiare più nel dettaglio tutti gli aspetti, come gli apporti solari in base all'orientamento[45]. L'approccio BIM offre anche vantaggi in termini di tempistiche, aumentando la produttività dal 30 al 45% riducendo gli sprechi e stabilizzando i costi dei progetti; inoltre, l'intero progetto in parallelo a viste e abachi si aggiorna in tempo reale in automatico in seguito a ogni piccolo cambiamento apportato al progetto evitando molti errori. Avendo una padronanza totale del modello unita alla precisione millimetrica dei macchinari CNC è possibile anche prevedere le tempistiche di realizzazione dei componenti, i tempi di montaggio fino alla gestione a fine vita del manufatto, spostando tutto il peso progettuale interamente all'inizio (Fig. 01.04.28)[46].



01.04.28 - Modello BIM. (Elaborazione personale).

[44] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, p. 63-64, 67, 337-338; Davies C. (2005), *op. cit.*, pp. 98, 142-147, 202-203.

[45] Imperadori M., Brambilla A., Brunone F., Feifer L., Salvalai G., Vanossi A. (2019), *Progettazione Tecniche & Materiali*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore, pp. 211, 216.

[46] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 20, 66-72, 84.

4.4 DfD ed Economia Circolare nell'Edilizia contemporanea

L'edilizia contemporanea sta vivendo profonde trasformazioni, passando da un processo artigianale e frammentato alla logica del prodotto industriale derivante da una filiera continua. In questo scenario si risolvono prima i dettagli costruttivi per poi passare allo studio degli spazi, transizione dovuta a una richiesta radicale di sostenibilità all'interno del settore. Questo cambiamento comporta un diverso approccio progettuale, passando da un sistema a umido, che obbliga alla posa prettamente in opera, a delle connessioni a secco più veloci e versatili in loco, privilegiando nodi meccanici, bullonati o a incastro. Ciò determina una precisione decisamente maggiore, millimetrica, offerta da lavorazioni presenti in stabilimento, come i macchinari CNC, che permettono di realizzare componenti precisissimi; travi e pilastri diventano così traducibili in elementi assemblabili fra loro, analogamente a un mobile IKEA. L'estetica stessa si evolve: il sistema costruttivo può diventare un elemento caratteristico dell'opera per dimostrare la sua peculiarità di montaggio, smontaggio ed evoluzione. L'edificio non rimane confinato come sistema chiuso ma passa a sistema aperto a modifiche nel tempo, garantendo una durata di vita maggiore mediante la propria capacità di adattamento e flessibilità. Questo approccio di montaggio degli elementi costruttivi in loco, assimilabile alle logiche di un meccano, comporta molteplici vantaggi, come il minore impatto sul sito di costruzione. Si riducono infatti rumori, polveri e il traffico continuo di veicoli pesanti, fattori che in un'area densamente urbanizzata possono trasformare il cantiere tradizionale in un'impresa logistica complessa. Inoltre, i giunti a secco offrono la possibilità, a fine vita del manufatto, di applicare i principi dell'Urban Mining, rendendo l'edificio una miniera di risorse utili per altri usi e non un enorme rifiuto da smaltire, questione estremamente attuale in un'ottica di economia circolare[47]. Tuttavia, l'applicazione di logiche come l'Urban Mining dimostra che l'impegno sociale legato alla sostenibilità ambientale non è sufficiente da solo, ma va accompagnato da una strategia più ampia di economia che guarda a tutto il ciclo di vita del prodotto, puntando a sistemi industriali a ciclo chiuso ed evitando di impiegare continuamente risorse vergini e limitate (Fig. 01.04.29).

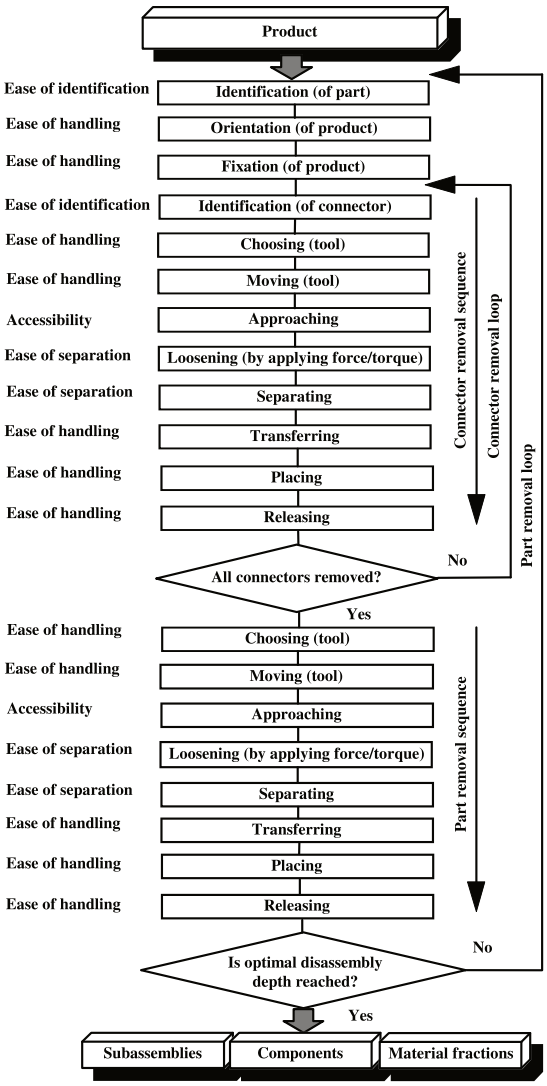


Fig. 01.04.29 - Le proprietà del disassemblaggio. *(Johansson 2002, p. 58).*

[47] Smith R. E., Quale J. D. (a cura di) (2017), *Offsite Architecture. Constructing the Future*. New York: Routledge, pp. 16-19.

Questa, seppur difficile, è l'unica via d'uscita per compiere una virata sociale verso un futuro sostenibile per il pianeta. L'influenza industriale sarà sempre più impattante, dato il progresso tecnologico inevitabile, con un sostanziale aumento di rifiuti e di produzione di gas serra che porterà a un incremento parallelo dei costi di smaltimento. Il tema riguarda strettamente il settore edilizio, uno dei comparti più influenti a livello globale; per questo motivo, la disassemblabilità degli elementi deve essere per i progettisti un tema non trascurabile. In questo quadro rientrano due modelli principali: il riuso dell'elemento, che non implica una trasformazione geometrica, e il riciclo, che prevede che il prodotto subisca dei trattamenti atti a scomporlo in materia prima utile per vari usi. Il disassemblaggio permette proprio questo: la facilità di suddivisione degli elementi per un agevole reimpiego dei componenti, trasformandoli da scarti a risorse[48]. La sfida del nostro secolo è di modificare un sistema basato su un'economia lineare, dove a fine vita i prodotti diventano rifiuti, per avvicinarci a un'economia circolare, dove i rifiuti teoricamente sarebbero quasi nulli e si genererebbero nuove risorse, evitando di estrarre ulteriori materiali vergini. Le legislazioni odierne stanno spingendo verso questa direzione; come già accade nel settore automotive, si punta sempre di più sul recupero dei materiali, ad esempio in Svezia dall'85% di obiettivo del 2002 si è arrivati al 95% entro il 2015, mentre in Germania le norme vietano lo smaltimento diretto senza un pretrattamento. Inoltre, gli utenti stanno sviluppando un'attenzione sempre maggiore alla problematica ambientale, facendo sì che le aziende ottengano importanti benefici d'immagine. A ciò si aggiunge il continuo aumento dei costi di smaltimento dei residui nelle discariche, dovuto alla saturazione delle stesse[49]. Per rispondere a queste urgenze economiche e legislative, le direttive europee hanno definito una precisa gerarchia d'azione. Se si dovessero mettere in ordine cronologico e gerarchico gli step possibili del fine vita, secondo le direttive europee si ottengono:

- Riutilizzo del prodotto, che prevede il reimpiego senza alcuna alterazione geometrica.

- Riutilizzo dei componenti, che prevede il ritorno a elementi componibili (Fig. 01.04.30).

- Riciclo di materia, che prevede la scomposizione in materiali e il successivo reimpiego degli stessi.

- Incenerimento, che prevede la produzione di energia sotto forma di calore ed elettricità.

- Discarica, che prevede la perdita completa delle risorse[50].

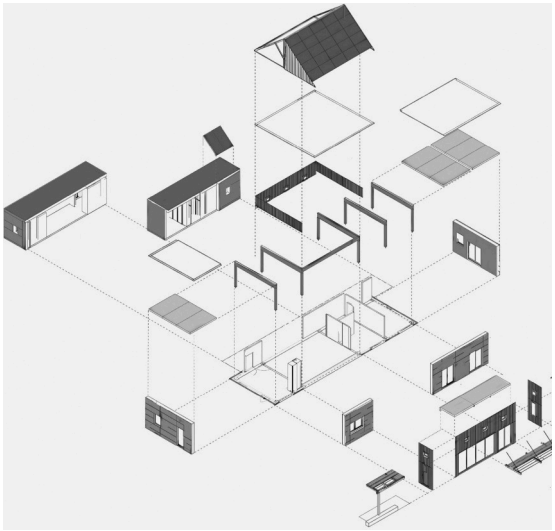


Fig. 01.04.30 - Lo schema della Cellophane House, progettata specificamente per essere completamente smontata e riutilizzata, trasformando lo scarto in risorsa. *(Smith 2010, p. 185).*

[48] Johansson G. (2002), *Design for Disassembly: A Framework*. Linköping: Linköping University, pp. 9-16.
[49] Johansson G. (2002), op. cit., pp. 5-16.
[50] Johansson G. (2002), op. cit., pp. 31.

Fra le tecniche di separazione dei componenti di un sistema edilizio vi sono la frantumazione e il disassemblaggio. Il primo sistema è più veloce e richiede meno manodopera, ma prevede la distruzione geometrica e la completa miscelazione dei materiali, rendendo impossibile o estremamente costosa la separazione degli stessi. Il secondo è decisamente più lento e richiede costi iniziali maggiori, ampiamente compensati dalla possibilità di recupero quasi totale dei componenti, evitando nuove estrazioni di materie vergini. Lo smontaggio di tipo industriale converte così il prodotto esausto in valore economico. Il punto cardine consiste nel far sì che convenga economicamente smontare una struttura per recuperare i suoi materiali, a patto che la manodopera impiegata costi meno del valore stesso ottenuto dal recupero. Per questa ragione è fondamentale individuare il corretto bilanciamento, teorizzato in letteratura come Profondità di Smontaggio Ottimale (Fig. 01.04.31)[51].

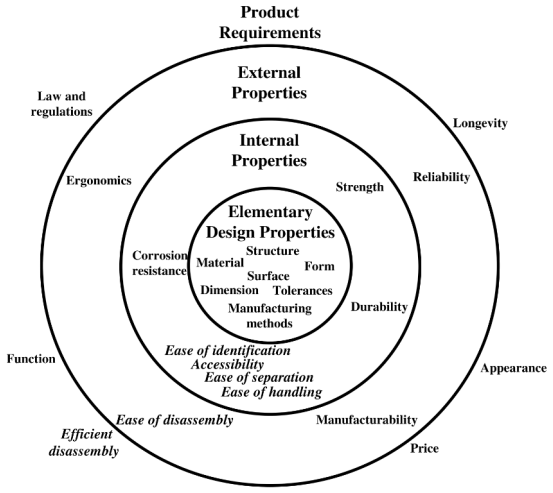


Fig. 01.04.31 - Le proprietà essenziali per un disassemblaggio efficiente. *(Johansson 2002, p. 61).*

[51] Johansson G. (2002), op. cit., pp. 11, 31-36, 49.

4.5 Conclusioni: l'Eredità del passato nel progetto contemporaneo

Il primo capitolo della ricerca è un viaggio, che ha permesso di mettere in luce il mondo della prefabbricazione edilizia, rispondendo alle domande: “perché fare prefabbricazione?”, “in quali contesti ha avuto origine?”, “in quali scenari e in quali condizioni ha prosperato?”, “chi si è occupato del tema?” e soprattutto: “quali sono state le principali criticità che hanno condotto al fallimento?”.

Dall'analisi emergono diversi punti in comune ricorrenti nel corso delle varie vicende storiche, i quali si ripetono con declinazioni differenti ma partono tutti dalla medesima base: la risposta a crisi o emergenze. L’analisi storica funge così da insegnamento per non commettere nuovamente i medesimi errori compiuti dai pionieri, i quali sono stati comunque fondamentali per gettare le basi dell’architettura contemporanea che oggi conosciamo.

In questo percorso spicca principalmente lo storico conflitto fra la libertà compositiva nella progettazione e i limiti rigidi della standardizzazione, oltre allo scontro con le esigenze degli utenti, da sempre più vicine alla praticità e alla tradizione. A ciò si aggiunge il tema dell'alienazione dell’individuo, manifestatasi sia sul piano lavorativo all'interno del modello fordista, sia sul piano sociale a causa della monotonia di quartieri privi di identità. Il capitolo dimostra, al contrario, chi e in che modo abbia saputo beneficiare dei problemi in atto per trarne un vantaggio commerciale, soffermandosi su come la tecnologia sia stata protagonista fino agli sviluppi odierni.

La principale sfida contemporanea è la sostenibilità ambientale, fortunatamente il settore possiede i mezzi per affrontarla, tuttavia adesso come allora, dipenderà anche dall’accettazione sociale delle masse l’adozione di nuovi paradigmi sull’efficientamento energetico, il quale porterà sicuramente a un aumento del comfort abitativo ma, inevitabilmente, comporterà anche un aumento del costo finale.

È proprio al fine di comprendere come il mercato odierno si comporta per rispondere alle sfide economiche, sociali e ambientali, che la presente ricerca proseguirà con una preliminare scomposizione dei principi teorici della prefabbricazione, per poi passare all'analisi pratica sul campo e alla sperimentazione progettuale.

Le caratteristiche dei sistemi costruttivi prefabbricati

Le note teoriche della prefabbricazione

In questo capitolo verranno affrontate le dinamiche teoriche e critiche che definiscono l'edilizia prefabbricata, analizzando i principi dibattuti in letteratura. Il percorso prevede la catalogazione dei differenti sistemi costruttivi attuali, identificandone vantaggi e complessità operative, per poi esaminare come la tecnologia prefabbricata stia rispondendo alle sempre più stringenti necessità ambientali, offrendo così una panoramica d'insieme del settore odierno.

L'obiettivo finale è sfruttare questo quadro teorico per ottimizzare e concretizzare le scelte progettuali future.

01
Da singolare opera d'arte a Prodotto Industriale

1.1 L'industrializzazione

Rispetto ad altri settori come quello dell'automobile, la società ha da sempre approvato e interiorizzato che certi prodotti venissero realizzati in serie in stabilimento, ma questo non è accaduto per le costruzioni. Infatti, queste ultime vengono viste come di bassa qualità e scadenti, con forme monotone che portano a negare l'individualità. Tuttavia, lo sviluppo negli ultimi decenni di competenze in campo CAD e BIM nel settore edilizio in realtà è proprio frutto delle applicazioni degli stessi nei campi dell'automobile o aeronautico, dove la necessità di prevedere comportamenti fisici attraverso simulazioni è stata fondamentale per la loro evoluzione. Il comparto costruttivo oggi è sempre più digitalizzato e prende ispirazione da quei modelli organizzativi che hanno da sempre accompagnato la realizzazione dei mezzi di trasporto moderni. In questo contesto, anche i macchinari a controllo numerico possono essere impiegati nel campo delle costruzioni, offrendo svariate opzioni: si tratta di tecnologie sottrattive dove il materiale viene rimosso per fresatura, taglio laser o getti d'acqua. In parallelo, le tecnologie additive permettono la realizzazione dell'elemento stratificando materiali o resine. Questa rivoluzione digitale, insieme a lavorazioni super precise, ha permesso di superare l'artigianalità del singolo elemento del passato e di conseguenza l'obbligo di realizzare componenti in serie, permettendo la flessibilità necessaria per evitare costruzioni quasi identiche fra loro e offrendo ai progettisti un ampio margine di varietà architettonica[52]. Questo approccio trova riscontro nell'edilizia tradizionale, la quale concepiva i manufatti come opere singolari e uniche, studiando caso per caso le adeguate soluzioni, un processo che porta a ricomporre da zero ogni singola componente. L'industrializzazione ribalta questa logica, orientandosi verso soluzioni pre-risolte ripetute

[52] Staib G., Dörrhöfer A., Rosenthal M. (2008), *Components and Systems. Modular Construction - Design, Structure, New Technologies*. Basilea: Birkhäuser, pp. 226-229

in più manufatti, rendendole flessibili per adattarsi a diverse esigenze progettuali. La produzione industriale si basa sul creare una filiera completa e coesa, evitando la frammentazione dei progettisti o delle imprese così da aumentare l'efficienza, l'ordine, il coordinamento, la standardizzazione e la catalogazione[53]. Una differenza cruciale rispetto al cantiere tradizionale è che, prima di progettare gli spazi, si identificano i dettagli tecnologici, il sistema costruttivo e con esso le eventuali limitazioni di modularità, e poi si pensa a generare gli ambienti (Fig. 02.01.32)[54].

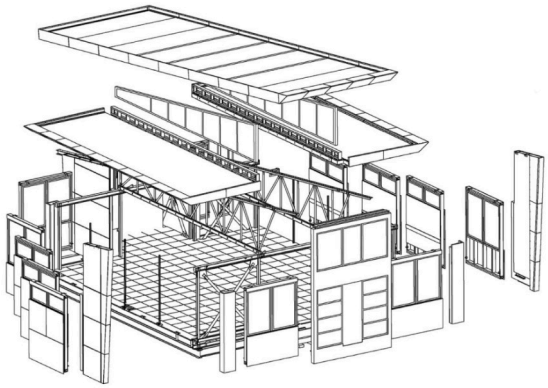


Fig. 02.01.32 - La scomposizione del fabbricato in componenti tecnologici, solai, pareti e giunti prima della realizzazione, pronti per l'assemblaggio. *(Smith 2010, p. 279).*

1.2 Il Design degli "Elementi"

Queste differenze di filiera hanno radicalmente cambiato il modo nel quale i professionisti si debbano interfacciare alla materia così che l'architetto si ritrova non solo ad affrontare la progettazione architettonica, ma diventa progettista del design degli "elementi" che insieme compongono la sua opera, immaginandone la posizione, le connessioni, la posa, la praticità, la velocità e la facilità di produzione (Fig. 02.01.33). A tal fine può adottare modelli modulari, ad esempio ideando elementi costruttivi che nascono sulla stessa base ma a cui poi si aggiungono delle variabili. Questo rende i componenti intercambiabili per più scopi, adottando un modulo sempre uguale e alterandone solo le dimensioni o utilizzando connessioni comuni. Questa è l'unica via per sfruttare l'economicità di ripetizione di elementi simili realizzati in massa. Il rischio è quello di giungere a prodotti identici, per cui una soluzione è impiegare telai di base ma con rivestimenti e finiture diverse per nascondere le parti fatte in serie. Per far fronte a un montaggio rapido è indispensabile predisporre il kit con meno connessioni possibili da svolgere in cantiere, equilibrando peso e dimensioni in modo da renderli gestibili ma senza farli troppo piccoli, altrimenti i lavori di montaggio si allungano e si complicano (Fig. 02.01.33)[55].

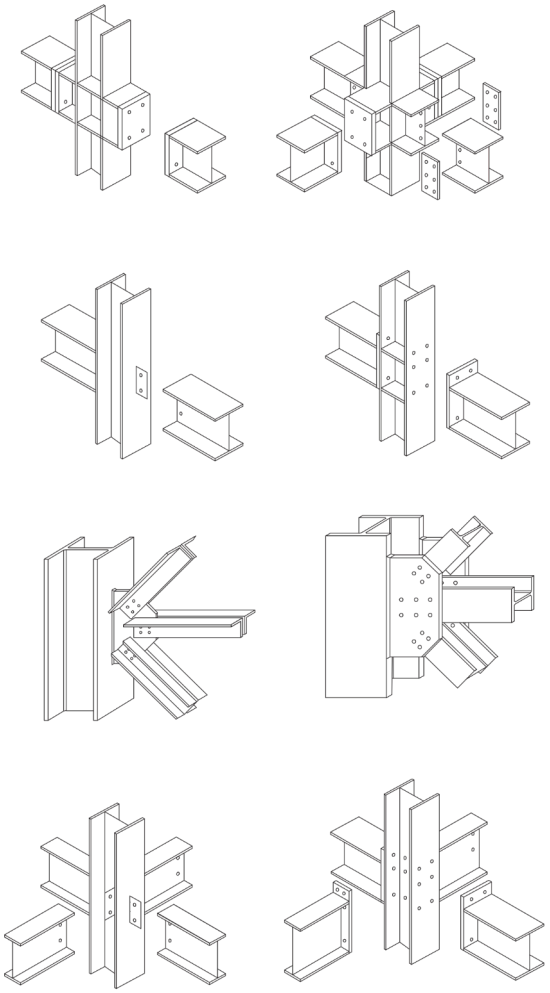


Fig. 02.01.33 - Esempi di connessioni realizzabili in modalità differenti, ognuna con i propri pregi o difetti, da identificare in fase progettuale. *(Staib 2008, p. 6).*

[53] Smith R. E., Quale J. D. (a cura di) (2017), *op. cit.*, pp. 3-5.
[54] Smith R. E., Quale J. D. (a cura di) (2017), *op. cit.*, p. 5.
[55] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 183-187.

1.3 Progettare e Costruire come un Meccano

L'accostamento dei termini meccanica e costruzione edilizia può significare mettere a confronto due mondi opposti e distanti, in realtà la scomposizione del fabbricato in molteplici parti lo rende paragonabile al montaggio di un set meccano. Infatti, nella tecnologia stratificata a secco l'Architetto rappresenta la figura di un Ingegnere Edile-Architetto oppure Process Engineer, attento alla produzione, logistica, standardizzazione, processi, trasporto, efficienza, economia, costi, tempo, risparmio energetico, risposta dei materiali, ottimizzazione e fine vita[56]. La filiera di industrializzazione-edilizia si basa su tre fasi:

- La prima, nella quale si redige il progetto con un calcolo dei componenti (Fig. 02.01.34);

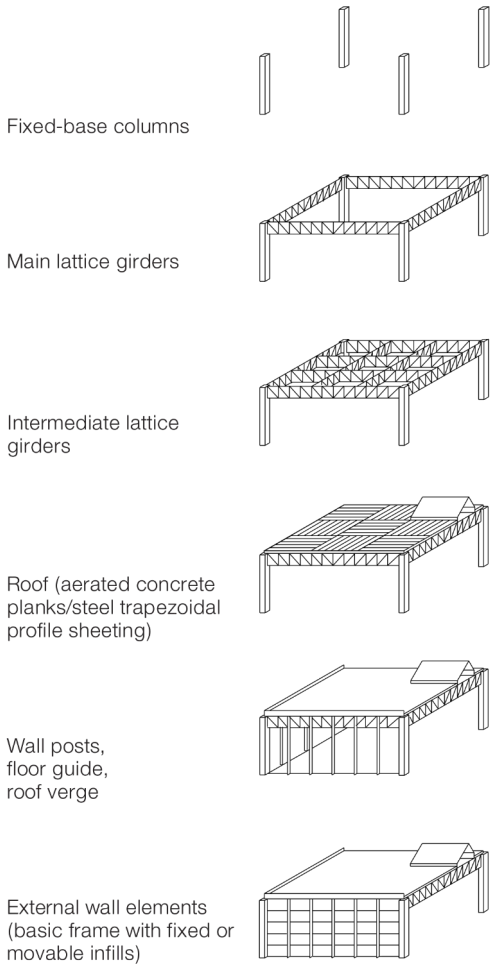


Fig. 02.01.34 - Un esempio di calcolo dei componenti e analisi delle fasi di posa. *(Staib 2008, p. 19).*

[56] Imperadori M. (1999), *La progettazione con tecnologia stratificata a secco*. Milano: BE-MA Editrice, p. 8.

- La seconda, in cui quest'ultimo si trasforma in prodotto grazie alle industrie (Fig. 02.01.35);



Fig. 02.01.35 - Stabilimento produttivo. *(Staib 2008, p. 38).*

-Infine la terza, che prevede la connessione fra i prodotti, con viti, tasselli e bulloni (Fig. 02.01.36)[57].



Fig. 02.01.36 - Posa in cantiere. *(Staib 2008, p. 188).*

È possibile definire quattro corollari della meccanica costruttiva: La verificabilità prestazionale, legata alla modellabilità ingegneristica e all'affidabilità; a questa si aggiunge l'ottimizzazione delle procedure di cantiere e l'evoluzione ergotecnica, seguite dall'implementazione tecnologica nel tempo e dalla ciclicità di funzionamento. Infine, l'ultimo corollario prevede la riduzione dell'entropia del sistema costruttivo e il risparmio delle risorse[58]. Un aspetto che è sempre stato escluso dalle costruzioni a umido è il principio della montabilità e smontabilità come fattore di ciclicità tecnologica e

[57] Imperadori M. (1999), *op. cit.*, p. 34.
[58] Imperadori M. (1999), *op. cit.*, p. 36.

di eco-compatibilità: da un esoscheletro rigido di una muratura portante o di un sistema a telai e tamponamenti massicci si passa a un endoscheletro leggero ed elastico; su di esso si impostano le strutture secondarie di involucro interno ed esterno che contengono le varie stratificazioni e impianti[59].

[59] Imperadori M. (1999), *op. cit.*, p. 31.

02
I Principi Teorici e le Regole di Idoneità della costruzione off-site

2.1 I Principi della costruzione e l'Impatto della prefabbricazione sulla Produttività

Il settore edilizio tradizionale è da sempre testimone dei più bassi livelli di progresso tecnologico rispetto ad altri comparti produttivi, per questo la filiera paga un prezzo elevato a causa della sua stessa inefficienza, la quale finisce per gravare interamente sull'utente finale a causa di una mancata industrializzazione. Il National Research Council (NRC) ha evidenziato che, per ottenere un miglioramento sostanziale delle prestazioni, si rende necessaria l'adozione del BIM come sistema di lavoro integrato, unita a un utilizzo intensivo della prefabbricazione, della modularità e della preparazione dell'edificio off-site. Parallelamente, i professionisti sono chiamati a padroneggiare i cinque principi fondamentali della costruzione industriale: costo, pianificazione, manodopera, obiettivi e rischio (Fig. 02.02.37)[60].

Per costo si intende la scomposizione dei pro e dei contro della prefabbricazione in termini strettamente monetari. Tra i vantaggi rientrano i risparmi sul materiale di scarto, l'efficienza della manodopera in uno spazio di fabbrica preorganizzato, i costi di posa dei componenti e il controllo della loro eventuale complessità; in questa visione, la valutazione economica deve comprendere anche le spese relative a tutto il ciclo di vita del manufatto, fino alla futura demolizione o dismissione dello stesso (Fig. 02.02.38)[61].



Fig. 02.02.37 - I cinque principi cardine nella costruzione industriale. *(Smith 2010, p. 80)*.



Fig. 02.02.38 - La demolizione di un fabbricato tradizionale, testimonia l'enorme quantità di rifiuti generati. *(Smith 2010, p. 62)*.

[60] Staib G., Dörrhöfer A., Rosenthal M. (2008), *Components and Systems. Modular Construction - Design, Structure, New Technologies*. Basilea: Birkhäuser, pp. 226-229.
[61] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 81-83.

La pianificazione prevede la capacità di prevedere ogni singola fase nel dettaglio, individuando quali lavorazioni si possano realizzare in parallelo, portando a risparmi temporali enormi. Questa logica consente di organizzare i giorni di posa in opera sfruttando le condizioni meteo favorevoli, continuando al contempo a produrre i componenti negli stabilimenti anche in caso di precipitazioni, un vantaggio gestionale impossibile da riscontrare all'interno di un cantiere convenzionale (Fig. 02.02.39)[62].

Sotto il profilo della manodopera e della qualità, l'industrializzazione offre la possibilità di raggiungere elevate precisioni, difficilmente ottenibili nelle costruzioni in opera, eliminando alla radice molti problemi strutturali. Questo approccio garantisce inoltre una superiore qualità lavorativa: uno spazio indoor controllato non espone gli operai a rischi di caduta dall'alto o a condizioni climatiche estreme. Il lavoro rimane circoscritto in una zona geografica specifica, rendendo l'organizzazione della vita privata più semplice per le maestranze. Un ulteriore beneficio risiede nella riduzione della necessità di operai specializzati, poiché in stabilimento le operazioni di assemblaggio sono più semplici e guidate, rendendo le mansioni facilmente acquisibili dagli operatori[63].

La gestione degli obiettivi impone di conoscere a monte i confini dell'opera e la sua dimensione organizzativa, coordinando in modo integrato tutti i soggetti coinvolti, dalla fornitura delle materie prime in fabbrica fino al prodotto finito. In passato, le problematiche legate alla realizzazione venivano affrontate in un secondo momento rispetto alla fase progettuale, determinando inevitabilmente un incremento dei costi, oltre a errori per imprevisti con conseguenti ritardi delle lavorazioni. Al contrario, un sistema integrato fra progettista e costruttore fa sì che tutto sia pensato subito; questo approccio mantiene nello stabilimento la massima capacità di modifica geometrica, fermo restando che, una volta spediti gli elementi costruttivi in cantiere, non si potrà più intervenire sulle componenti poiché ogni decisione è già stata assunta[64].

[62] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 84-86.

[63] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 86-91.

[64] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 89-90.

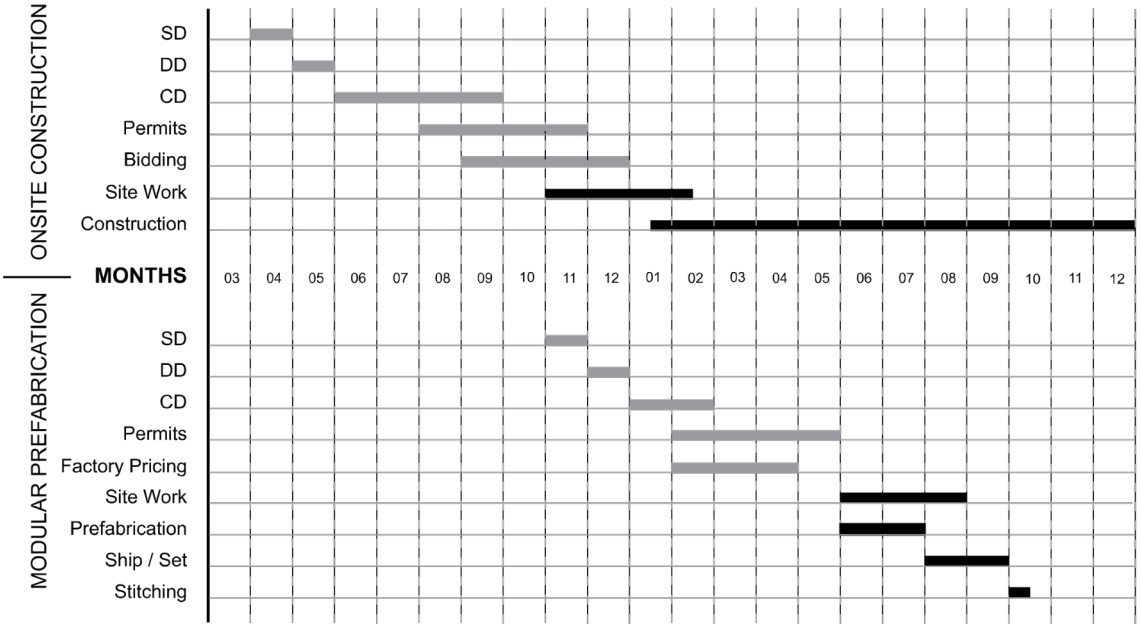


Fig. 02.02.39 - Il diagramma di Gantt mette a confronto i tempi di realizzazione di due case simili: una costruita in modo tradizionale in cantiere (21 mesi di realizzazione) e una prefabbricata in moduli (10 mesi di realizzazione). *(Smith 2010, p. 85).*

Infine, il fattore di rischio nell'edilizia industriale è fortemente legato a una forma di vulnerabilità sia culturale sia finanziaria. L'edilizia tradizionale gode infatti di una reputazione convalidata da decenni di esperienza ed è accettata in modo radicato nella società, mentre la prefabbricazione sconta ancora una diffidenza legata alla mancanza di informazione e di conoscenza sul tema. Inoltre, la filiera off-site richiede somme di capitale iniziale più alte per l'acquisto immediato dei materiali strutturali; una dinamica finanziaria che per un cantiere tradizionale risulta dilazionata nel tempo e così meno impattante, rendendo l'edilizia umida, agli occhi del mercato comune, un'alternativa apparentemente più affrontabile (Fig. 02.02.40).

Da questi principi consegue che non tutti i progetti sono adatti alla prefabbricazione, risulta quindi fondamentale analizzare le diverse casistiche conoscendo a tutto campo le caratteristiche di idoneità[65].

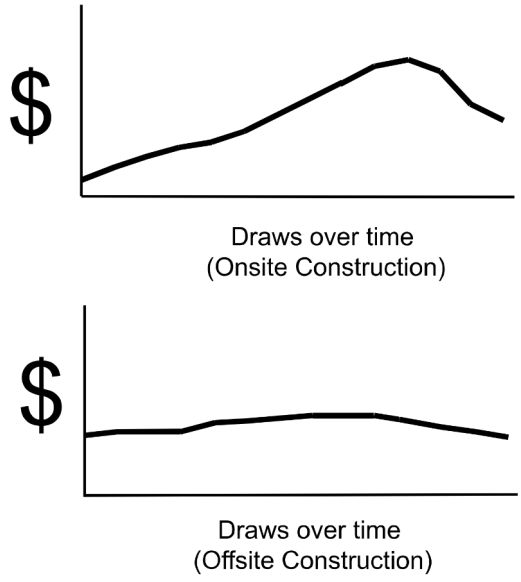


Fig. 02.02.40 - Confronto dell'andamento dei flussi di cassa (draws over time) tra l'edilizia tradizionale in cantiere (onsite) e l'edilizia prefabbricata offsite. *(Smith 2010, p. 92)*.

[65] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 91-92.

2.2 Come Identificare se un progetto è Adatto alla prefabbricazione

Per determinare se è idoneo un progetto rispetto alle regole industriali, è necessario analizzare una serie di parametri a monte della progettazione:

- Disponibilità del capitale: La prefabbricazione richiede rispetto all'edilizia tradizionale la presenza di quasi tutto il capitale finanziario, questo perché data la velocità di realizzazione, l'intervento necessita di quasi tutte le risorse monetarie in un lasso di tempo esiguo[66].

- Ripetizione: L'implementazione della prefabbricazione predilige soluzioni più semplici e linee squadrate; al contrario, per forme complesse si rende necessaria la produzione di componenti troppo specifici, riducendo drasticamente il vantaggio economico legato alla ripetitività dei moduli (Fig. 02.02.41)[67].

- Tempo: Tempistiche di consegna dell'opera particolarmente ristrette, o la necessità di ridurre al minimo i disagi che un cantiere in corso può causare, portano a scegliere soluzioni costruttive prevedibili, controllabili e veloci[68].

- Complessità architettonica: I progetti che prevedono parti geometriche molto articolate e che richiedono un'altissima precisione esecutiva sono inevitabilmente da realizzare in fabbrica, dal momento che in cantiere non si potrebbe mai raggiungere il grado di accuratezza voluto[69].

- Costo manodopera tradizionale: Il costo della manodopera del cantiere tradizionale è fondamentale per capire se a livello economico convenga un investimento in termini di progettazione dei componenti costruttivi oppure se una manodopera a basso costo renda preferibile la realizzazione totale in opera[70].

[66] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, p. 49.
[67] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, p. 50.
[68] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, p. 50.
[69] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, p. 51.
[70] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, p. 51-52.

- Il sito: La localizzazione in aree geografiche remote spinge a prediligere sistemi prefabbricati per la facilità di trasporto dei componenti, oppure in luoghi molto densi come nei centri città, dove è vantaggioso creare meno disagi possibili ai residenti. Proprio la componente logistica legata alle condizioni geografiche introduce il vincolo più critico delle costruzioni off-site, ovvero i limiti derivanti dal trasporto[71].

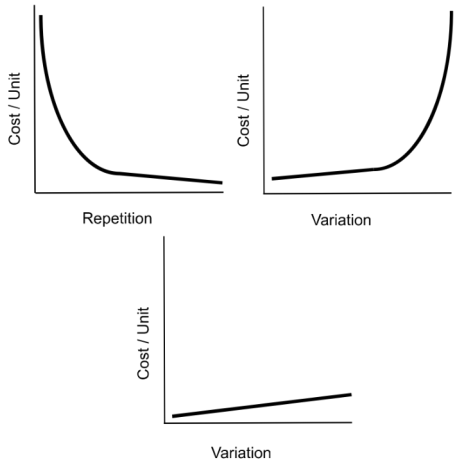


Fig. 02.02.41 - Analisi dei costi unitari in funzione della standardizzazione e della variazione. Il terzo grafico evidenzia l'ottimizzazione dei costi legata alla flessibilità dei moderni processi industriali. *(Smith 2010, p. 69).*

2.3 Il Limite del Trasporto

Tra i parametri esaminati, il trasporto può diventare uno dei costi maggiori senza le adeguate attenzioni, per questo in certe situazioni nelle quali gli stabilimenti sono troppo lontani dal sito può diventare economicamente svantaggioso. Dal punto di vista teorico oltre i 200 km di distanza dal sito di produzione il costo diventa insostenibile. Inoltre, la densità di spedizione determina la redditività, questo perché se i mezzi trasportano volumi internamente vuoti, si rendono molti viaggi inefficienti, superflui e quindi evitabili. Questo è il paradosso dei volumi tridimensionali: offrono meno montaggio in cantiere ma richiedono un numero sensibilmente maggiore di mezzi di trasporto. Inoltre, la posizione sul mezzo degli stessi deve garantire il facile aggancio mediante una gru; se il vento soffia a più di 16 m/s è doveroso sospendere la posa, altrimenti diventa difficoltosa e pericolosa. Buona norma è di posizionare gli elementi in modo strategico sul mezzo, inserendo per ultimi i componenti da montare per primi e viceversa, così da evitare di spostare tutte la parti in una zona di deposito, prevenendo manovre e lavorazioni superflue in cantiere. La precisione delle fondazioni non è mai assoluta, fondamentale è verificare se sono a livello prima della posa, ed installare alla base dei pilastri dei connettori che permettono di regolare l'altezza degli stessi, così da partire con la struttura dal piano terra perfettamente in bolla. Questione da non sottovalutare è la dimensione del rimorchio e i suoi limiti perché se le componenti sono troppo grandi si ricade in trasporti eccezionali con costi superiori. Una volta identificata la giusta strategia realizzativa e connotate le relative complicazioni, è bene visualizzare tutte le dinamiche che fanno parte del contesto in cui il manufatto sarà immerso (Fig. 02.02.42)[72].



Fig. 02.02.42 - Un esempio dei problemi logistici che è possibile incorrere durante la posa. *(Staib 2008, p. 46).*

[71] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, p. 51.

[72] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, p. 203-209.

2.4 I Tre Pilastri sul Contesto della costruzione Off-site

Non sempre in un progetto è sufficiente la progettazione millimetrica in ogni aspetto perché esso abbia successo; in certi casi, anche se sulla carta è tutto perfetto, poi nella realtà può non verificarsi ciò che ci si aspettava. Questo accade perché incorrono anche altri elementi oltre al progetto in sé, come il rapporto con il contesto ambientale, la struttura organizzativa e la capacità tecnologica a disposizione (Fig. 02.02.43)[73].

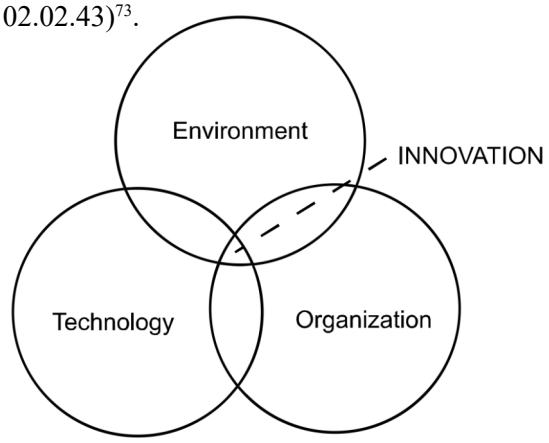


Fig. 02.02.43 - Il diagramma di Venn mostra come l'innovazione nasca dall'equilibrio tra Ambiente, Organizzazione e Tecnologia (TOE). *(Smith 2010, p. 48).*

Come ambiente si intende il contesto culturale e sociale, dove le scelte, le preferenze o le necessità dei consumatori sono fondamentali. In secondo luogo, influisce la geografia del sito, fattore cardine per determinare problemi logistici, l'urgenza dei tempi di realizzazione, la disponibilità di risorse del territorio o qual è il settore industriale più competitivo nella località[74].

L'organizzazione riguarda i soggetti che gestiscono tutto il processo; fra questi attori devono essere chiari i ruoli di ognuno e le responsabilità. Ci deve essere dialogo fra chi progetta, chi produce e chi realizza l'opera sul campo; nel caso del prefabbricato, infatti, la totalità delle scelte va eseguita a monte e tutte le figure sono chiamate a esserne consapevoli[75].

Per tecnologia si intendono le difficoltà indotte dalle possibilità tecnologiche che sono presenti, come per esempio il BIM per quanto riguarda la progettazione, un sistema di lavoro sicuramente efficace, ma di cui non tutti gli studi dispongono e che richiede costi per l'implementazione dello stesso (Fig. 02.02.44). Oppure si intende il livello di precisione e lavorazione offerto dai macchinari presenti in fabbrica, più sono avanzati e più saranno costosi, ma allo stesso tempo offriranno opportunità maggiori[76].

[73] Smith R. E., Quale J. D. (a cura di) (2017), *op. cit.*, pp. 47-48.

[74] Smith R. E., Quale J. D. (a cura di) (2017), *op. cit.*, pp. 48-53.
[75] Smith R. E., Quale J. D. (a cura di) (2017), *op. cit.*, pp. 53-66.
[76] Smith R. E., Quale J. D. (a cura di) (2017), *op. cit.*, pp. 66-73.

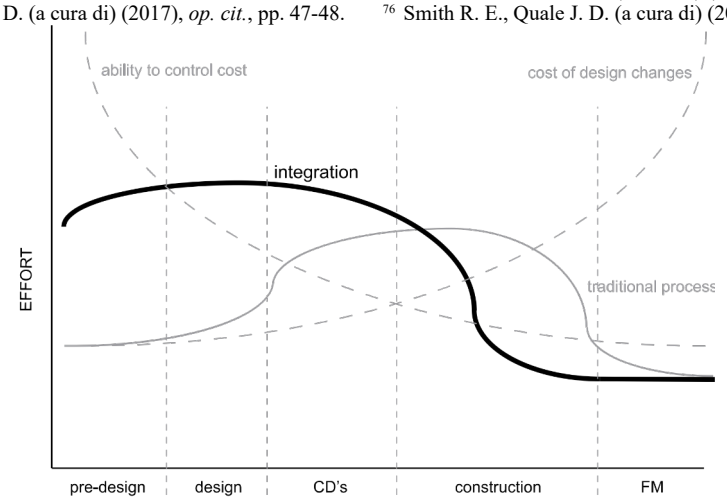


Fig. 02.02.44 - Il diagramma di MacLeamy mostra la differenza fra l'approccio alla progettazione con metodologia BIM e le metodologie tradizionali, mettendo in luce il grande investimento in termini di tempo iniziale e i vantaggi che derivano. *(Smith 2010, p. 58).*

2.5 I Vantaggi dei sistemi Off-site

L'impiego di sistemi off-site favorisce una maggiore flessibilità rispetto alle esigenze per l'utenza, semplificando le consuete attività di manutenzione grazie ad un'alta facilità di ispezione rispetto al sistema convenzionale. In aggiunta il prezzo è più prevedibile grazie a una pianificazione molto spinta di tutte le fasi, anche di montaggio, utile per realizzare prototipi il più efficienti possibili. Questo approccio garantisce una maggiore velocità di posa e del risultato finito eliminando i classici tempi morti da cantiere, cosa molto appetibile per un imprenditore per un rientro del capitale rapidissimo nel caso di vendita o messa a reddito dell'immobile. Sul piano operativo, si ottiene la sicurezza di esecuzione, principalmente in uno stabilimento controllato e sicuro, dove la ripetizione delle attività ne limita il rischio, a cui si aggiunge la riduzione dei consumi energetici per il trasporto in cantiere di macchinari non necessari e la contrazione degli scarti. Il sistema permette di operare anche in quei luoghi e in momenti con climi sfavorevoli e garantendo allo stesso tempo condizioni di lavoro più confortevoli per le maestranze. Infine, dal punto di vista ambientale, la facilità di controllo delle prestazioni offre maggiori risparmi energetici durante l'uso, mentre la smontabilità permette a fine vita di non avere un enorme rifiuto ma un insieme di elementi commercializzabili per il loro reimpiego, evitando di attingere a nuove materie prime[77].

2.6 I dieci Sistemi Costruttivi

Per sfruttare al meglio questi vantaggi è indispensabile conoscere le caratteristiche del sistema costruttivo impiegato, dato che ognuno segue diverse strategie. Negli studi di Roger-Bruno Richard vengono identificati dieci approcci possibili, ciascuno con specifici vantaggi e svantaggi (Fig. 02.02.45):

- Tipo A. Scheletro portante (pilastri e travi): l'utilità è che offre la totale libertà progettuale, ma a discapito di costi superiori.

- Tipo B. Solai completi e pilastri: il vantaggio è l'efficienza nel coprire rapidamente grandi aree, lo svantaggio è l'aggancio fra i solai e i pilastri.

- Tipo C. Pannelli portanti: il beneficio è la distribuzione economica dei carichi, lo svantaggio risiede nei limiti di pianta e di composizione interna degli spazi.

- Tipo D. Giunto integrato: permette di semplificare le connessioni in cantiere, ma di contro i componenti hanno un ingombro maggiore.

- Tipo E. Moduli sezionabili: consiste nello scomporre il volume 3D del modulo in più parti più piccole, con il fine di ridurre il loro ingombro finale durante il trasporto, per non spostare aria nei mezzi rispetto al box, ma richiede un adeguamento in cantiere.

- Tipo F. Box: il vantaggio è l'estrema preparazione in fabbrica, ma lo svantaggio è la complessità maggiore di trasporto.

- Tipo G. Nucleo Servizi per bagno e cucina: data la loro maggior complessità di impianto, vengono realizzati in moduli 3D, mentre il resto della struttura no.

- Tipo H. Megastruttura: prevede un'enorme struttura a scaffale che fa da supporto ai moduli, la quale presenta però costi molto importanti.

- Tipo I. Meccanizzazione del cantiere: consiste nel trasporto dei macchinari industriali in sito per produrre elementi ingombranti e pesanti senza i problemi legati al trasporto su strada.

- Tipo J. Sistema aperto: il quale presuppone che diverse aziende possano contribuire alla realizzazione dei componenti fra loro tutti

[77] Di Micco S. (2010), *op. cit.*, p. 27.

compatibili; tuttavia, è un percorso molto complicato dato che richiede una standardizzazione precisa per tutti gli attori della filiera[78].

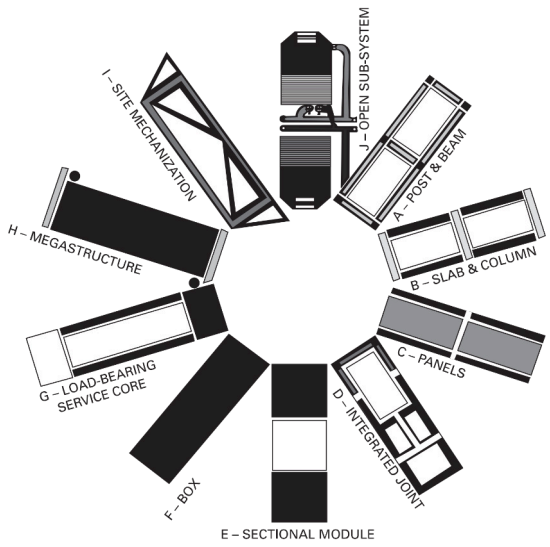


Fig. 02.02.45 - Lo schema mostra la classificazione e tassonomia dei principali sistemi costruttivi prefabbricati e approcci di industrializzazione edilizia, suddivisi in componenti lineari, bidimensionali, volumetrici e flessibili. *(Smith 2017, p. 6).*

Oltre alla classificazione dei sistemi costruttivi, Roger-Bruno Richard evidenzia che la scelta implica precise condizioni al contorno legandole al livello di industrializzazione della filiera. Per chiarire questa dinamica, l'autore cataloga tre macro-categorie operative: il Site-intensive kit-of-parts dove il grado di industrializzazione è moderato, e beneficia di una gran facilità logistica non richiedendo grandi investimenti; il Factory-made 3D module al contrario detiene un gran livello di industrializzazione ma si avranno maggiori difficoltà di trasporto e maggiori investimenti; una via di mezzo fra i due è il sistema Hybrid, con un'industrializzazione modesta e una difficoltà di trasporto moderata (Fig. 02.02.46). Tuttavia, la scelta costruttiva di questi sistemi oggi è guidata dalla volontà di alleggerire l'impatto ecologico del settore edilizio, basato da sempre da inefficienze e consumi di risorse eccessivi (Fig. 02.02.47)[79].

[78] Smith R. E., Quale J. D. (a cura di) (2017), *op. cit.*, pp. 5-10.

[79] Smith R. E., Quale J. D. (a cura di) (2017), *op. cit.*, pp. 11-14.

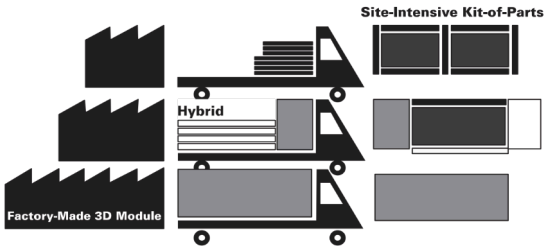


Fig. 02.02.46 - Lo schema mostra la classificazione dei sistemi costruttivi industrializzati in base al livello di prefabbricazione: approccio bidimensionale a componenti, sistema ibrido e sistema volumetrico tridimensionale realizzato in fabbrica. *(Smith 2017, p. 4).*

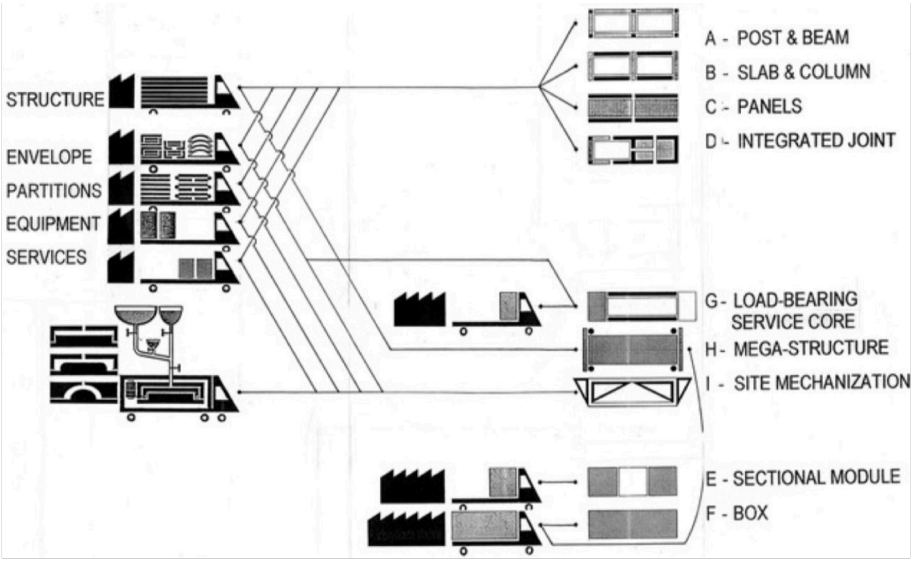


Fig. 02.02.47 - Il diagramma di flusso mostra l'integrazione dei sub-sistemi edilizi: struttura, involucro, partizioni, finiture e impianti e loro combinazione logistica nei diversi modelli di industrializzazione offsite. *(Smith 2017, p. 19).*

03
La Scomposizione in Sistemi e Moduli per rispondere alla Sostenibilità

3.1 Impatti Ambientali degli Edifici

Il modello costruttivo che ha caratterizzato l'edilizia fino ad oggi non è più sostenibile sul piano economico né ecologico; secondo i dati del U.S. Energy Council 2007 Report, il settore è responsabile del 39-40% del consumo totale dell'energia e del 39% delle emissioni. Il solo settore residenziale è responsabile del 17% dei gas serra globali[80]. La sfida contemporanea consiste nell'abbassare in modo radicale queste emissioni, puntando sulle 4R: ridurre, riutilizzare, riparare e riciclare (Fig. 02.03.48) (Fig. 02.03.49). La prefabbricazione può essere la risposta, garantendo pochi scarti e il reimpiego degli stessi, controllando l'intero ciclo di vita (Fig. 02.03.50) e migliorando anche le qualità lavorative. Evitando soluzioni a umido o chimiche e utilizzando invece moduli riutilizzabili e ricollocabili garantisce il mantenimento dell'energia incorporata nei materiali stessi, mediante l'uso di connessioni meccaniche e reversibili che in aggiunta permettono la sostituzione di sezioni danneggiate[81]. In questo quadro si inserisce la valutazione del ciclo di vita LCA secondo le norme ISO 14040/14044, in parallelo, una valutazione d'impatto LCIA verifica la violazione sulla salute umana, l'impatto sul cambiamento climatico, la degradazione degli ecosistemi e l'esaurimento delle risorse naturali. La prefabbricazione agevola considerevolmente il controllo di queste variabili, supportando il progettista in scelte consapevoli. La necessità di quantificare e limitare questi impatti sul ciclo di vita del manufatto trova una risposta operativa nelle teorie di scomposizione geometrica dell'edificio (Fig. 02.03.49)[82].

[80] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 217-218.
[81] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 222-226.
[82] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 231-232.

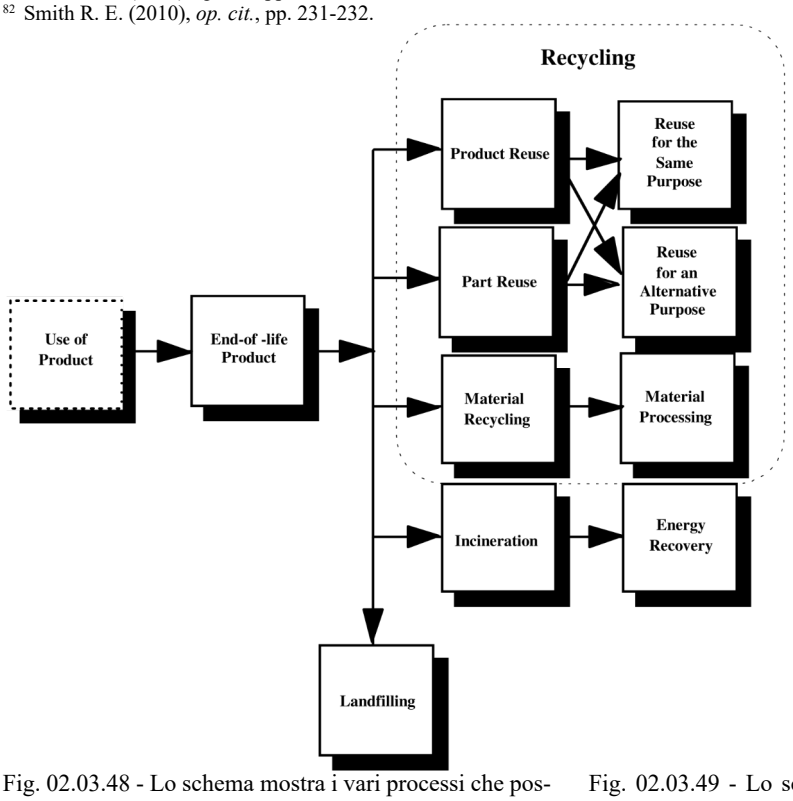


Fig. 02.03.48 - Lo schema mostra i vari processi che possono subire le parti del manufatto a fine vita. *(Johansson 2002, p. 11).*

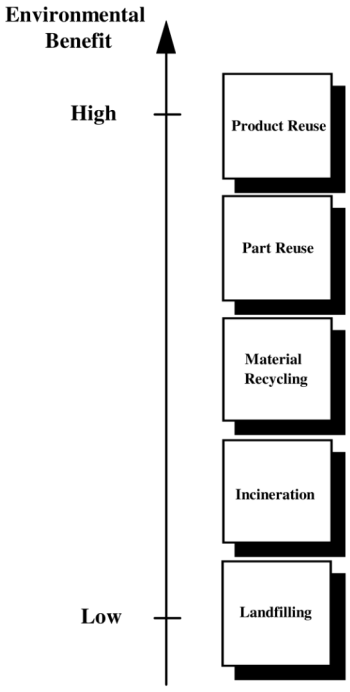


Fig. 02.03.49 - Lo schema mostra quali processi a fine vita sono preferibili in base a quanto impatto comportano. *(Johansson 2002, p. 32).*

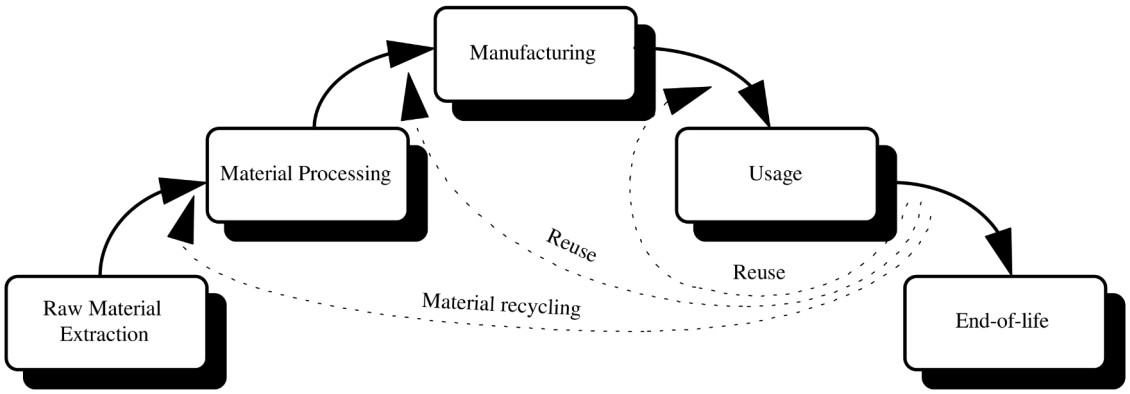


Fig. 02.03.50 - Lo schema mostra dove si collocano nel ciclo di vita le varie alternative di riuso dei componenti o riciclo dei materiali. *(Johansson 2002, p. 8).*

3.2 I sei Sistemi Edilizi secondo Stewart Brand

Una teoria molto condivisa per comprendere le variabili di un edificio dinamico è quella di Stewart Brand; essa teorizza che il sistema edilizio è un insieme di componenti che cambiano a velocità diverse:

- Il sito rappresenta il posto eterno in cui poggia il sistema.

- La struttura, ovvero lo scheletro portante, ha una durata utile stimata di 50 anni senza subire alterazioni.

- La pelle, ovvero l'involucro che media lo scambio energetico con l'esterno e l'interno, ha una durata media di 20 anni.

- I servizi impiantistici richiedono modifiche ogni 7 e i 15 anni.

- Lo spazio interno può essere riconfigurato ogni 3 anni, per assecondare le esigenze di vita degli occupanti.

- Gli arredi che cambiano in modo continuo.

Per rendere l'edificio duraturo si dovrà garantire flessibilità di intervento fra questi livelli detti "shearing layers", per poter intervenire senza demolire l'intero fabbricato. Secondo la sua teoria è presente un supporto, una struttura detta support, l'involucro e i servizi principali, e i tamponamenti detti infill, ovvero le componenti mobili e personalizzabili; la longevità è garantita dalla capacità dell'edificio di adattarsi e mutare secondo le esigenze di vita degli occupanti. Per tradurre concretamente questa scomposizione in strati temporali all'interno della filiera industriale, la produzione off-site classifica gli elementi costruttivi in tre macrocategorie geometriche[83].

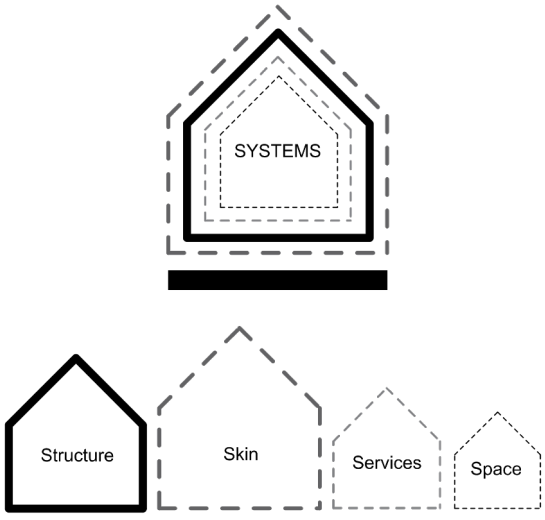


Fig. 02.03.51 - Lo schema mostra i sei layer teorizzati da Brand, struttura, pelle, servizi, spazio, sito e arredo. *(Smith 2010, p. 221).*

[83] Brand S. (1994), *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. New York: Viking Press, p. 13; citato in Smith R. E. (2010), *Prefab Architecture*, *op. cit.*, pp. 221-224.

3.3 I Tre Componenti generali della Prefabbricazione

Il sistema modulare prevede di determinare il giusto equilibrio fra il grado di finitura realizzato off-site, e la dimensione dei singoli componenti, dei pannelli e dei moduli, per rendere agevole sia il trasporto che la posa (Fig. 02.03.52)[84]. Tutti questi elementi costruttivi sono realizzabili off-site ad esclusione del sito stesso; tra i componenti principali troviamo pilastri, travi e giunzioni, da essi dipendono l'integrazione fra involucro e impianto. Spesso vengono ideati come un kit da montare, in legno, in metallo leggero o mediante prefabbricati in calcestruzzo (precast). Esistono due tipi:

- Le strutture di massa e le strutture a telaio, le prime caratterizzate dal trasferimento dei carichi su superfici continue, le seconde basate su travi e pilastri offrendo maggiore flessibilità e velocità di montaggio. Di contro, il sistema a telaio richiede soluzioni di controvento o pareti rigide inserite nei telai, oppure l'alternativa è rappresentata da telai rigidi dove la rigidità è garantita dai nodi. I componenti sono meno finiti rispetto ai pannelli o ai moduli, perciò, limitano la velocità di assemblaggio in fabbrica, però sono la scelta migliore per ottenere un elevato grado di libertà e flessibilità architettonica[85].

- I pannelli, ovvero superfici planari usate per realizzare solai, coperture e pareti, rispetto al sistema dei componenti permettono un montaggio di circa il 60% in fabbrica, è un sistema estremamente veloce nella posa e richiede soltanto la stesura delle finiture interne; inoltre, rende l'edificio molto più sigillato dato che si riducono le linee di connessione. Il progettista deve prestare attenzione alla loro struttura, al giusto isolamento, ai problemi di condensa, all'assemblaggio della stessa e all'integrazione degli impianti[86].

- I moduli rappresentano il massimo per la prefabbricazione, essendo volumi tridimensionali quasi completi, si può arrivare fino al 95% di realizzazione in fabbrica, dato che è necessario solamente preparare il sito realizzando le fondazioni. Per quanto riguarda i servizi ricchi di componenti impiantistici, la prefabbricazione predilige blocchi già predisposti. I quali richiedono unicamente la posa in opera e delle connessioni terminali. I sistemi spaziali di cucine o bagni già predisposti come blocco unico velocizzano in misura significativa la sistemazione. Possono essere realizzati in vari materiali, il legno è la scelta tipica per realizzazioni nel residenziale multipiano, l'acciaio invece viene adottato per edifici alti fino a 20 piani oppure si può impiegare il calcestruzzo, ma oggi è poco preso in considerazione per l'enorme peso da gestire[87].

[84] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, p. 127.
[85] Smith R. E. (2010), *Prefab Architecture*, *op. cit.*, pp. 128-135.
[86] Smith R. E. (2010), *Prefab Architecture*, *op. cit.*, pp. 140-144.
[87] Smith R. E. (2010), *Prefab Architecture*, *op. cit.*, pp. 160-167.

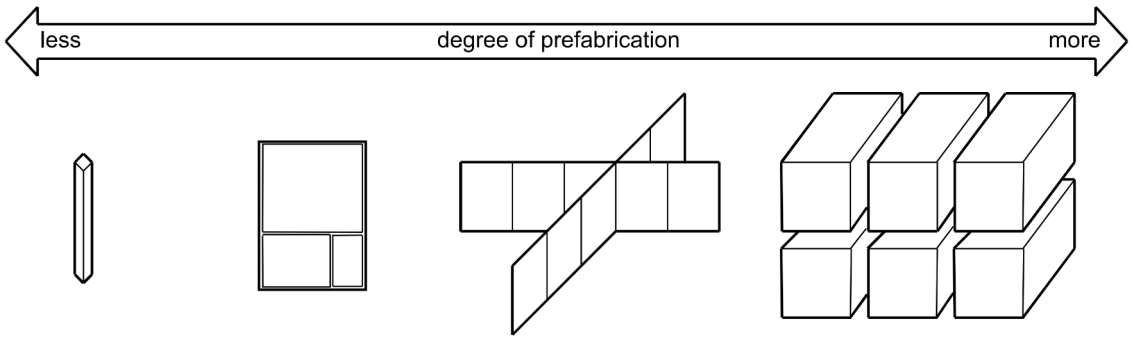


Fig. 02.03.52 - Lo schema mostra la classificazione lineare dei sistemi costruttivi in base al grado di prefabbricazione: da elementi lineari, a componenti bidimensionali, fino ai moduli volumetrici tridimensionali. *(Smith 2010, p. 128).*

Nella maggior parte dei casi si scelgono soluzioni con sistema a pannelli perché offrono il giusto compromesso fra integrazione di impianti e facilità di trasporto e posa. I sistemi modulari tridimensionali offrono un maggior grado di realizzazione in fabbrica, però è necessario prestare molta attenzione al peso e all'ingombro, un modulo troppo pesante rende difficoltosa la posa e obbliga all'uso di gru e macchinari impegnativi e costosi. La scomposizione geometrica del sistema edilizio in componenti, pannelli o moduli (Fig. 02.03.53), necessita di una base di riferimento per essere valorizzata, ovvero la modularità della griglia perché può offrire l'opportunità di reversibilità degli elementi nei diversi momenti temporali[88].

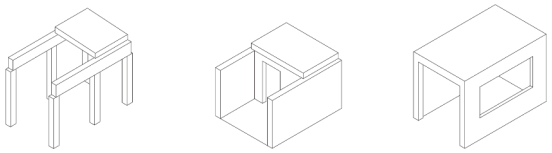


Fig. 02.03.53 - Lo schema mostra le tre soluzioni, telaio, pannelli e moduli. *(Staib 2008, p. 42).*

3.4 Griglie e Standardizzazione dimensionale

La griglia agisce come ponte tra il sito e tutti gli elementi realizzati off-site, essa predispone una regolarità geometrica e sarà la base per il fissaggio di tutte le parti. Si suddividono in due tipologie: di tipo telaio assiale, che adotta come riferimento l'asse centrale degli elementi edilizi, come l'asse centrale di pilastri e travi; mentre la seconda è la griglia modulare che invece adotta come riferimento le facce o superfici facilitando l'integrazione dei componenti, ed è la più favorevole per i moduli tridimensionali di bagni o cucine già assemblati (Fig. 02.03.54).

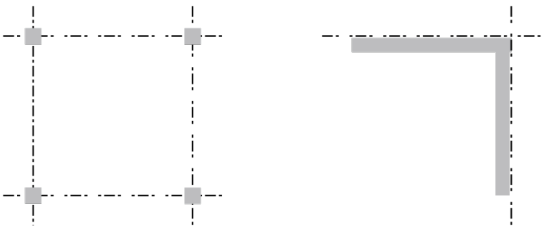


Fig. 02.03.54 - Lo schema mostra le due griglie alternative, a pilastri o a superfici. *(Staib 2008, p. 125).*

Per realizzare un prodotto off-site è necessaria una precisione elevata, la griglia può da un lato limitare la varietà geometrica, ma dall'altro aiuta a stabilire un ritmo dimensionale standard, garantendo la ripetizione e abbassando così i relativi costi. In aggiunta agevola l'integrazione di giunzioni a secco in un'ottica di Design for Deconstruction (DfD) per il recupero delle risorse. Tuttavia, l'applicazione rigida di queste griglie dimensionali rischia di generare prodotti standardizzati simili fra loro, e per superare questo limite, oggi si predilige il passaggio da soluzioni chiuse a sistemi aperti[89].

3.5 Dal Sistema Chiuso al Sistema Aperto per conferire carattere

La progettazione di componenti svincolata da modelli predeterminati nasce in Gran Bretagna; essa si basa su prodotti senza una reale e fissa localizzazione di impiego e dal loro uso, ma che si possono assemblare in vario modo. L'idea originaria era proprio quella di creare dei cataloghi di parti staccate da utilizzare per le diverse tipologie edilizie. La ricerca di maggiore flessibilità e l'esigenza di scegliere e personalizzare la propria casa, al di là di soluzioni preconfezionate, sono infatti alcuni dei motori principali che spingono verso il sistema aperto. Il rischio di uniformità e la conseguente monotonia dei quartieri hanno spinto nel tempo le industrie a ridimensionare le vecchie ricerche sul tema Prefab Home. Per questo motivo, la tradizionale fabbricazione a modello chiuso viene oggi sostituita da questi modelli aperti, i quali permettono diversi tipi di assemblaggio e una

[88] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 141, 163, 180.

[89] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 125-126.

totale libertà compositiva. I sistemi aperti richiedono però un sufficiente livello tecnico dei processi produttivi, per via della complessità delle lavorazioni, essenziali a garantire la compatibilità fra le parti e un alto grado di tecnologia dei componenti e i loro fissaggi[90].

[90] Di Micco S. (2010), *op. cit.*, pp. 31-32.

04
La Tecnologia dei Componenti e i loro Fissaggi in ottica di DfD

4.1 Fondamenti su Produzione e Assemblaggio

L'affermarsi dell'industrializzazione ha portato con sé un mutamento della metodologia e dei prodotti finiti, verso soluzioni sempre più complesse e precise grazie alla lavorazione dei vari materiali con fresatura, pressatura, tornitura e foratura. Il passo successivo avvenne con la separazione fra la produzione dei componenti e la fase di montaggio, ideando dei componenti interoperabili fra loro. Prende forma così il concetto di fitting, ovvero l'adattamento dei materiali semplici in componenti per l'assemblaggio poi svolto in un secondo momento, ad esempio predisponendo il singolo materiale grezzo con connessioni geometriche o meccaniche. Questo passaggio dall'elemento unico artigianale alla scomposizione meccanica del componente richiede la definizione di regole precise per governare la complessità dei nuovi pacchetti costruttivi[91].

4.2 I Principi della costruzione Stratificata a Secco

I principi fondamentali che governano la progettazione e l'esecuzione delle tecnologie stratificate a secco si articolano in specifiche categorie teoriche e prestazionali:

- Complessificazione delle prestazioni: Derivante dalla volontà di richiedere al pacchetto tecnologico il soddisfacimento di una moltitudine di prestazioni contemporaneamente, fra le quali l'isolamento termico e acustico, la protezione antifuoco, l'igrotermia e l'armonizzazione con gli impianti e la struttura. Tutto ciò implica una progettazione attenta della stratificazione dei vari materiali, dove la posizione e lo spessore di ciascuno strato sono variabili cruciali[92].

- Finalizzazione dei dispositivi: La tecnologia stratificata a secco si basa su elementi fra loro connessi, per cui vi sono elementi detti stratificazioni (come pannelli e materassini isolanti), profili di sostegno (orditure e montanti), meccanismi connettori (stucchi e colle) e profili di finitura (Fig. 02.04.55)[93].

[91] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 181-182.
[92] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 27.
[93] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 31.

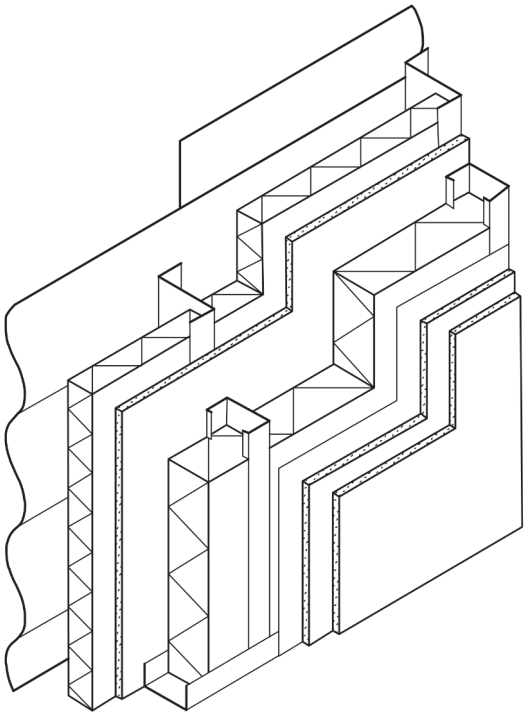


Fig. 02.04.55 - Esempio di stratigrafia con montanti di profili metallici, isolamenti e pannelli di rivestimento. *(Staib 2008, p. 161).*

- Articolazione strutturale: Il montaggio si basa su un supporto al quale sono montati i pannelli di rivestimento; ciò permette di integrare facilmente gli impianti, dato che questi ultimi trovano una propria sede geometrica indipendente (Fig. 02.04.56).



Fig. 02.04.56 - Articolazione degli impianti nelle strutture. *(Staib 2008, p. 62).*

- Progettualità: La tecnologia a secco permette al progettista di intervenire direttamente nella scelta del pacchetto in base alle condizioni atmosferiche del sito. I pacchetti sono molto flessibili e variabili in base alla necessità, e una collaborazione tra progettista e azienda permette di realizzare soluzioni adatte a ogni situazione. Al contrario, con l'edilizia tradizionale si verifica la ripetizione delle stesse soluzioni ovunque, rendendo i progettisti periti di spazi, volumi e geometrie, escludendo l'attività principe di rendere l'immobile adatto al sito nel quale è immerso[94].

- Assemblabilità: La velocità di assemblaggio è sinonimo di economicità, per cui rendere il sistema costruttivo veloce e semplice da assemblare è la chiave per rendere competitivo un sistema in termini di costi rispetto a un altro[95].

- Gestibilità: La facilità di assemblaggio senza l'impiego di colle o malte permette inoltre la smontabilità del sistema, consentendo revisioni, sostituzioni e l'integrazione di nuovi dispositivi, rendendo adattabile l'immobile nel tempo a nuove tecnologie ed esigenze[96].

- Specializzazione dei materiali: Riuscire a ottenere dai materiali naturali le prestazioni volute e con costanti miglioramenti nel tempo senza interventi artificiali è impossibile; essi seguono nella maggior parte dei casi un processo di mutazione che ne rafforzi certe capacità. Inoltre, nell'ottica di riuso e riciclo dei materiali, i processi industriali sono necessari; ad esempio, il legno lamellare offre una moltitudine di vantaggi ineguagliabili rispetto al legno massello[97].

[94] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 39.
[95] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 43.
[96] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 47.
[97] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 31.

4.3 I Materiali e le potenzialità del Legno

La scelta delle materie prime determina le modalità di assemblaggio, la posa, la durata e le prestazioni dell'opera.

I metalli, ad esempio, vengono scelti per le elevate prestazioni portanti che offrono con poco ingombro, ma richiedono trattamenti per evitare il fenomeno di corrosione (Fig. 02.04.57)[98].

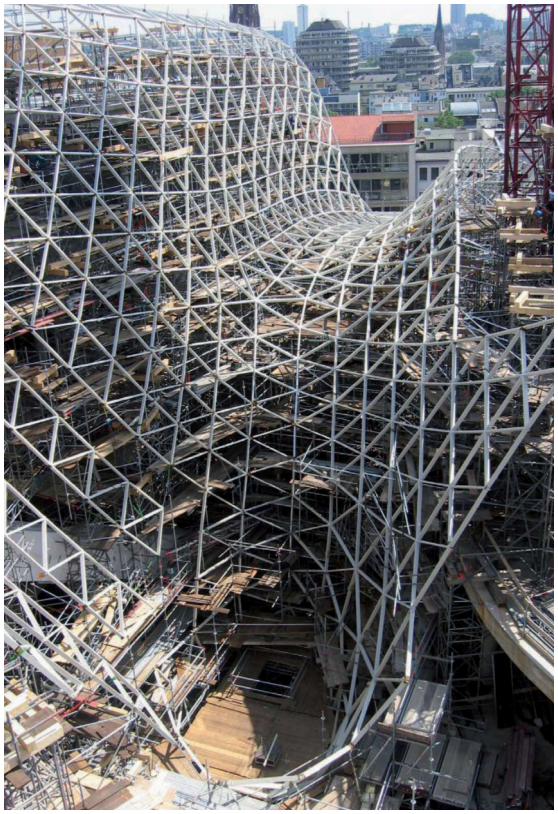


Fig. 02.04.57 - Un esempio di flessibilità architettonica grazie alle prestazioni portanti del metallo. *(Staib 2008, p. 213).*

Il calcestruzzo, che nel corso dei decenni ha ricevuto un incremento di resistenza e possibilità di finiture come nella produzione precast, è spesso associato a una posa in loco; in realtà, mediante casseforme in acciaio o polimeri è possibile realizzare blocchi prefabbricati per fondazioni o strutture (Fig. 02.04.58)[99].



Fig. 02.04.58 - Un esempio di impiego del calcestruzzo prefabbricato per le strutture. *(Staib 2008, p. 99).*

I polimeri, usati per impianti, guarnizioni, sigillatura e impermeabilizzazioni, permettono di assolvere funzioni impossibili per altri materiali ed estremamente utili per preservare il sistema e migliorare la durata[100].

In parallelo con acciaio e calcestruzzo, il legno è il terzo materiale più richiesto a livello globale, soprattutto con le ultime richieste ecologiche, grazie alla spinta offerta dall'innovazione industriale che ha permesso prestazioni competitive con altri materiali in molteplici ambiti. Inoltre, il legno offre prestazioni meccaniche valide a fronte di una massa ridotta, con costi di lavorazione contenuti rispetto ad altri materiali come l'alluminio. In aggiunta, questo materiale nel settore edilizio può essere impiegato per molteplici usi essendo facile da lavorare, come le latifoglie vengono usate per arredi, mentre le conifere invece per gli elementi strutturali, dalle strutture ai solai fino ai rivestimenti e alle partizioni come per il legno ingegnerizzato[101]. Questo aspetto lo rende molto versatile a molteplici casistiche, il tutto con adattamenti industriali enormemente meno energivori rispetto ad altri materiali. La lavorazione in stabilimento rende lo stesso economicamente competitivo, dato che si evitano le antiche lavorazioni artigianali. Il materiale ha inoltre un'elevata resistenza alla trasmissione termica che lo rende molto prestante e favorito per quanto riguarda le esigenze di comfort termico. Infine, gli scarti permettono un alto livello di

[98] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 111-112.
[99] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 115-116.
[100] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 116-117.
[101] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 108-110.

riciclo per la realizzazione di sottoprodotti. Questa versatilità strutturale e termica trova riscontro nei sistemi costruttivi a telaio (Fig. 02.04.59)[102].



Fig. 02.04.59 - Un esempio di come il legno si presta a molteplici usi, strutturali e di rivestimento. *(Staib 2008, p. 187).*

4.4 I Sistemi a Telaio note generali

I sistemi a telaio permettono la scomposizione della struttura dall'involucro esterno e dalle finiture interne, in modo tale che tutti gli elementi possano indipendentemente assolvere alla loro funzione. È buona norma far sì che l'involucro esterno avvolga le strutture eliminando ogni ponte termico. Inoltre, la conformazione a telaio offre la massima libertà di suddivisione interna, garantendo flessibilità al fabbricato. Le strutture si basano su una griglia, dimensionata per garantire la fruibilità degli spazi, esse necessitano di sistemi controventanti per assorbire le forze orizzontali, realizzati con tiranti oppure con pareti rigide. Le connessioni sono vitali per i sistemi sia in acciaio che in legno, nei primi si adotta la saldatura o la bullonatura, nelle seconde invece perni, incastri o piastre d'acciaio (Fig. 02.04.60)[103].

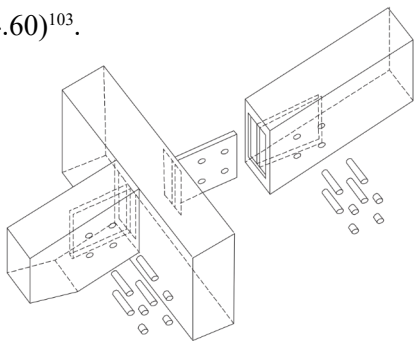


Fig. 02.04.60 - Fissaggi mediante piastre e perni. *(Staib 2008, p. 66).*

[102] Staib G. *et al.* (2008), *op. cit.*, p. 51.
[103] Staib G. *et al.* (2008), *op. cit.*, pp. 54-55.

Nei sistemi a telaio in legno la normativa regola l'impiego del legno e lo classifica per difetti naturali, ampiezza degli anelli e prestazioni meccaniche. In edilizia esistono diverse configurazioni, infatti può essere impiegato il legno massiccio anche se presenta limiti per via dei nodi interni e delle luci che può coprire, oppure il legno lamellare che essendo composto da strati di tavole parallele, permette di coprire grandi distanze con sezioni contenute, in alternativa esistono travi composte con sezione a H con anima e ali.

Gli elementi del telaio possono essere posizionati con la soluzione pilastri e travi, dove i pilastri sono continui a tutta altezza dell'edificio anche se è di più piani e ad essi si fissano le travi mediante staffe; oppure con trave su pilastro nel quale i pilastri si interrompono al piano e la trave poggia su di essi; in alternativa vi è il sistema a doppio elemento, dove si adottano due pilastri che con un perno sorreggono la trave posta in mezzo ad essi, o al contrario, due travi agganciate a un pilastro posto al centro con un perno (Fig. 02.04.61)[104].

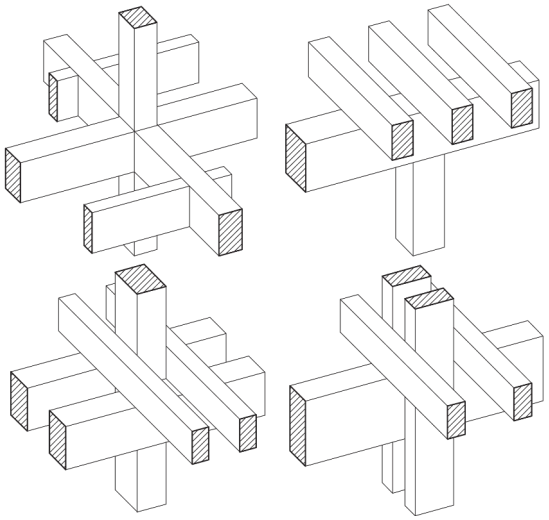


Fig. 02.04.61 - Schemi di diverse tipologie di posizionamento fra travi e pilastri. *(Staib 2008, p. 65).*

[104] Staib G. *et al.* (2008), *op. cit.*, p. 61.

Dal punto di vista costruttivo si distinguono i sistemi a platform-frame e balloon-frame: nel primo caso la struttura viene eretta piano per piano, mentre nel secondo gli elementi verticali continuano per più piani (Fig. 02.04.62)[105]. Per collegare il telaio alle fondazioni è necessaria una base impermeabilizzata per evitare la risalita di umidità, dato che il legno è un materiale igroscopico[106]. Per assorbire le sollecitazioni orizzontali nei sistemi in legno solitamente si fissano al telaio delle pareti rigide in OSB che agiscono come diaframmi rigidi, oppure si inseriscono dei puntoni che fungono da diagonale fissati nel telaio fra travi e pilastri (Fig. 02.04.63)[107].

Un'altra alternativa costruttiva impiegata è il sistema mero originariamente concepito per le strutture in acciaio è stato in seguito impiegato anche con il legno; si basa su aste in legno lamellare, collegate fra loro da nodi sferici e tubi di acciaio inseriti all'estremità delle aste stesse. Le aste si fissano ai tubi mediante perni rendendo il sistema decostruibile e veloce da montare. Queste strutture permettono geometrie reticolari tridimensionali, consentendo di coprire grandi luci ed evitando pilastri intermedi mediante una struttura molto leggera. Questa soluzione offre ai progettisti infinite possibilità architettoniche, dato che le aste possono essere di varia lunghezza e orientamento[108].

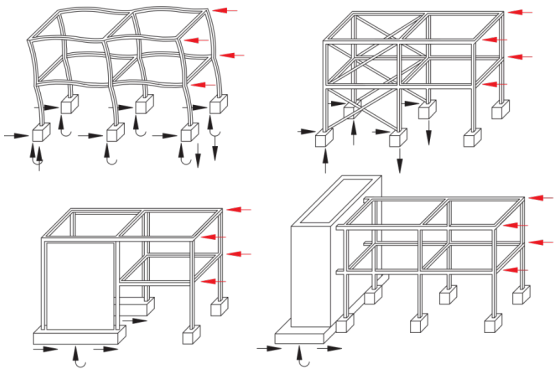


Fig. 02.04.62 - Schemi di comportamento di una struttura a telaio nei confronti di forze orizzontali e i relativi sistemi di controventamento atte ad opporsi. *(Staib 2008, p. 54).*

[105] Staib G. *et al.* (2008), *op. cit.*, p. 65.
[106] Staib G. *et al.* (2008), *op. cit.*, pp. 62-64.
[107] Staib G. *et al.* (2008), *op. cit.*, pp. 61-64.
[108] Staib G. *et al.* (2008), *op. cit.*, p. 65.

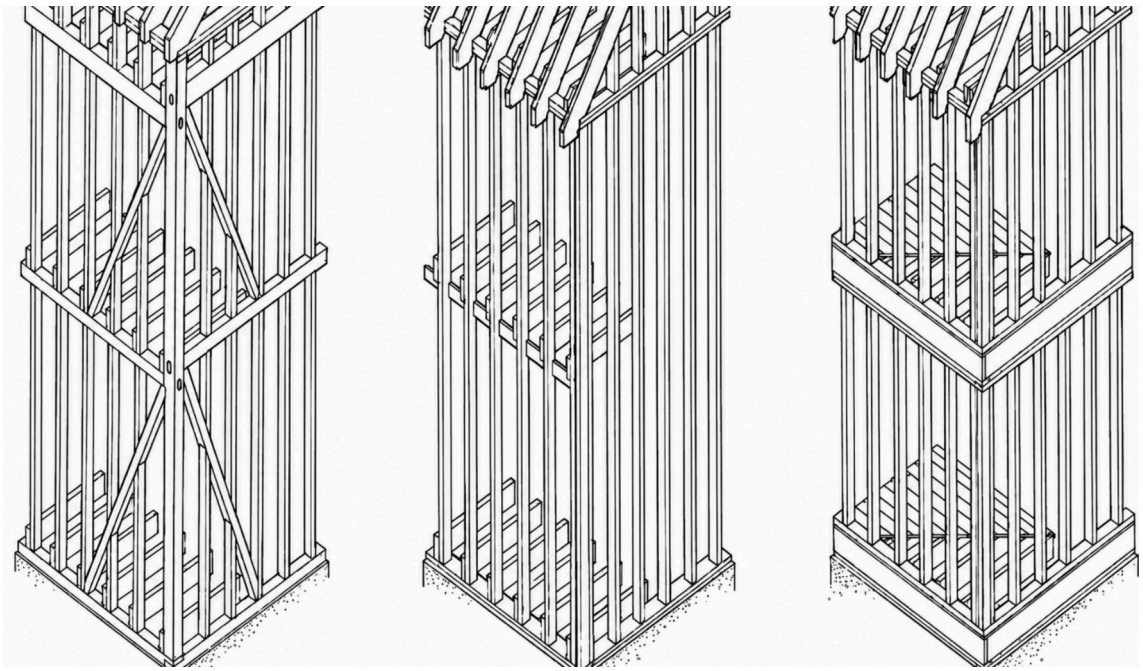


Fig. 02.04.63 - Evoluzione dei sistemi costruttivi leggeri in legno: il primo Balloon frame tradizionale con controventature diagonali, il secondo Balloon frame modificato senza controventi interni e il terzo utilizzato oggi il Platform frame con solaio intermedio a piattaforma. *(Staib 2008, p. 16).*

4.5 Metodi di Lavorazione e Fissaggi

Tutte le precedenti soluzioni sono frutto di lavorazioni specifiche in base alle proprietà del materiale, infatti, la tipologia di taglio dipende da queste ultime. Ad esempio, in base alla sopportazione del componente del calore dovuto all'incisione dello stesso, vi sono diverse tipologie impiegabili come il taglio al plasma, al laser o a getto d'acqua, oltre che frese e trapani CNC[109].

Fra i sistemi di fissaggio adottabili vi sono i fissaggi meccanici come perni in acciaio, bulloni, viti, rivetti, piastre chiodate, piastre a gancio, chiodi e graffette. Tali soluzioni richiedono un alto livello di precisione per l'allineamento dei fori e sono le soluzioni predilette per il DfD (Design for Deconstruction).

Le piastre chiodate sono in acciaio zincato munite di denti, una volta pressate la dentatura fissa due o più elementi; invece, i sistemi a piastre a gancio tipo Janeba ("hook plate") vengono integrate direttamente negli elementi strutturali. Quest'ultima connessione è a scomparsa, ciò permette di mantenere gli elementi sullo stesso piano, riducendo l'ingombro del solaio. I perni in acciaio da 8 o 16 mm di diametro hanno il vantaggio che in fori preforati il loro montaggio è rapido e semplice, garantendo ottima resistenza a taglio, e spesso sono completati da dadi e rondelle (Fig. 02.04.64).

Gli adesivi invece vengono usati per carichi leggeri ma sono sconsigliati per la mancata possibilità di disassemblaggio dopo il loro uso, portando a maggiori rifiuti a fine vita[110].

[109] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 118-121.

[110] Smith R. E. (2010), *op. cit.*, pp. 121-122; Staib G. *et al.* (2008), *op. cit.*, pp. 62-64.

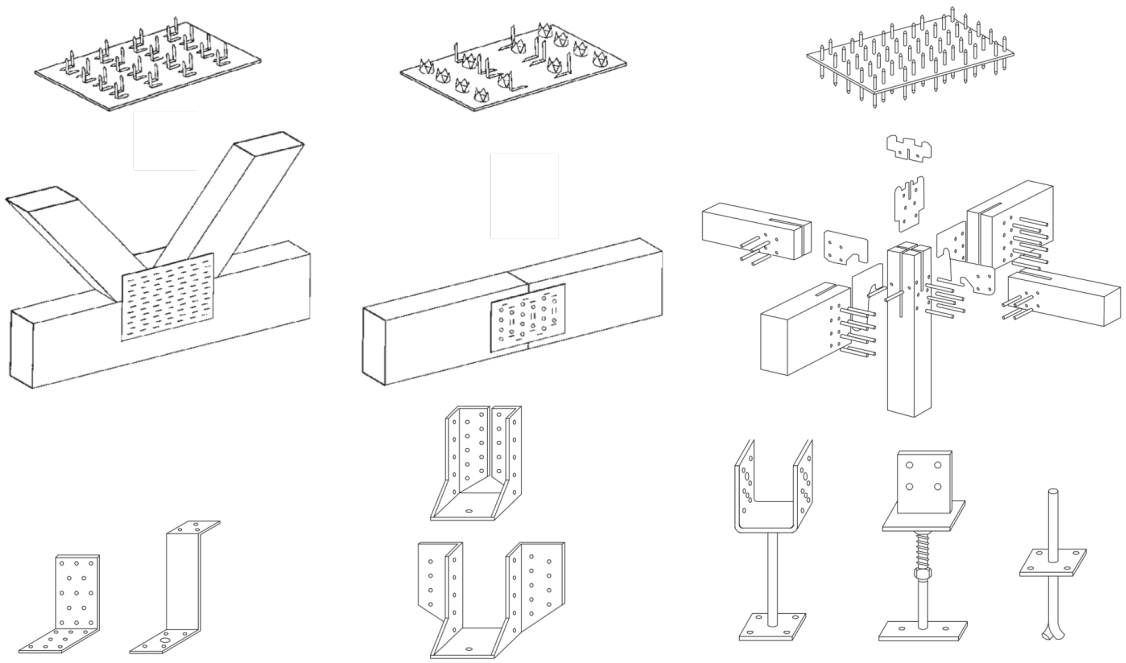


Fig. 02.04.64 - Elementi di collegamento metallici per elementi lignei: piastre chiodate per capriate, piastre di giunzione in linea, sistemi di connessione pilastro-trave tridimensionale con spinotti e staffe di base regolabili per l'ancoraggio alle fondazioni. *(Staib 2008, p. 63).*

05
Le Prestazioni Fisiche e programmazione del Ciclo di Vita

5.1 L'approccio Active House

Una volta verificate le condizioni di idoneità all'industrializzazione, le tecniche costruttive e l'accessibilità del progetto, la transizione verso l'off-site si deve rapportare con protocolli di sostenibilità ambientale, in particolare spicca l'approccio Active House. Questo è dovuto al fatto che il patrimonio edilizio è responsabile di circa il 50% delle emissioni di CO2 a livello globale, per questa ragione è opportuno un cambio di rotta acquisendo una maggiore consapevolezza delle scelte progettuali[111].

Con questa nuova percezione nasce nel 2011 Active House Alliance, una partnership globale con centri di ricerca e istituzioni, fissando dei requisiti che, se rispettati, offrono la certificazione Active House Label; vi sono specifiche sul tema del comfort, sulla consapevolezza del design sostenibile e sugli smart-buildings, come per l'integrazione della domotica (Fig. 02.05.65)[112].



Fig. 02.04.65 - La mappa mondiale delle abitazioni Active House del 2018. *(Imperadori 2019, p. 71).*

Il problema basilare delle costruzioni tradizionali è che, per migliorare le prestazioni e arrivare agli standard richiesti, debbano inevitabilmente aumentare la massa dell'edificio, e di conseguenza le energie necessarie a realizzarlo, andando a ridurre gli spazi interni. Dopo decenni di sperimentazioni oggi possiamo beneficiare delle tecnologie stratificate a secco, un tempo solo teorizzate e mai messe completamente in pratica, fra le aziende che collaborano in questo settore vi sono Vanoncini S.p.a., Velux Italia e Knauf Italia. Active House integra i principi di PassivHaus sulla questione energetica, e l'attenzione per il benessere dell'utente[113].

La volontà di sostenibilità nel settore edilizio ha spinto così nella stesura di tre macro-obiettivi integrati che rappresentano la spina dorsale di Active House: comfort, energia e ambiente.

Comfort: Lo scopo degli edifici è di garantire un luogo piacevole da vivere, questione determinata dal progetto di involucro e impianto. Il primo rappresenta l'elemento più importante, perché l'impianto deve essere solo un supporto all'involucro e non l'origine del comfort. Qualora l'impianto rimanga costantemente attivo per garantire i requisiti minimi, offre il chiaro segnale che il progetto d'involucro non è stato concorde con le reali caratteristiche del sito[114].

[111] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 7.
[112] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 71.
[113] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 68.
[114] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 51.

Energia: L'aumento del tenore di vita ha fatto sì che i consumi energetici del singolo immobile siano aumentati nel corso dei decenni, ciò richiede un'attenta rivalutazione dei consumi evitando gli sprechi, sfruttando i guadagni gratuiti e, in parallelo, riducendo le perdite[115].

Ambiente: Il settore edilizio consuma una notevole quantità di materiale; essere consapevoli dell'intero processo di vita è, e sarà, un obbligo, all'interno del quale lo strumento LCA si configura come un parametro fondamentale in una progettazione sostenibile. La giusta consapevolezza dell'impatto energetico e ambientale delle materie prime permette di selezionare in modo ottimale i materiali e pacchetti tecnologici da impiegare (Fig. 02.05.66)[116].

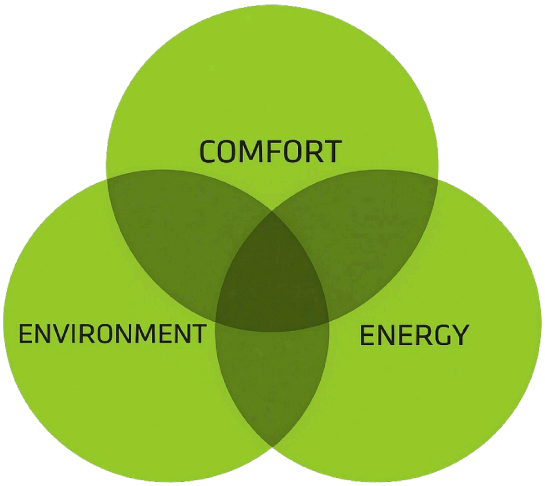


Fig. 02.05.66 - Schema con i principi cardine di Active House: Comfort, Energia e Ambiente. *(Imperadori 2019, p. 61).*

Essi vengono inseriti in un grafico detto Radar che ne mostra il livello di raggiungimento, configurandosi come una bussola per i progettisti, atta a guidare sulle scelte progettuali (Fig. 02.05.67). Fra i parametri monitorati vi sono: l'ingresso della luce naturale che viene ottimizzata durante il giorno per l'illuminazione dei locali; la temperatura percepita, che viene calibrata per evitare fenomeni di surriscaldamento o raffreddamento degli spazi; la qualità dell'aria indoor che viene gestita per evitare accumuli di umidità o CO2, limitando la necessità della ventilazione meccanica; il fabbisogno energetico che viene colmato sfruttando i contributi degli apporti gratuiti come quelli solari o la ventilazione naturale; l'uso di fonti rinnovabili che viene monitorato annualmente per quantificare l'uso di energia primaria non rinnovabile usata dal manufatto. Ad essi si aggiungono gli impatti della realizzazione che devono essere quantificati con il fine di limitare i danni arrecati all'ambiente, oltre che i consumi idrici per l'uso quotidiano che vanno supportati pensando per esempio a sistemi di accumulo; l'attenzione verso i rifiuti a fine vita viene integrata garantendo la smontabilità in un'ottica di economia circolare[117].

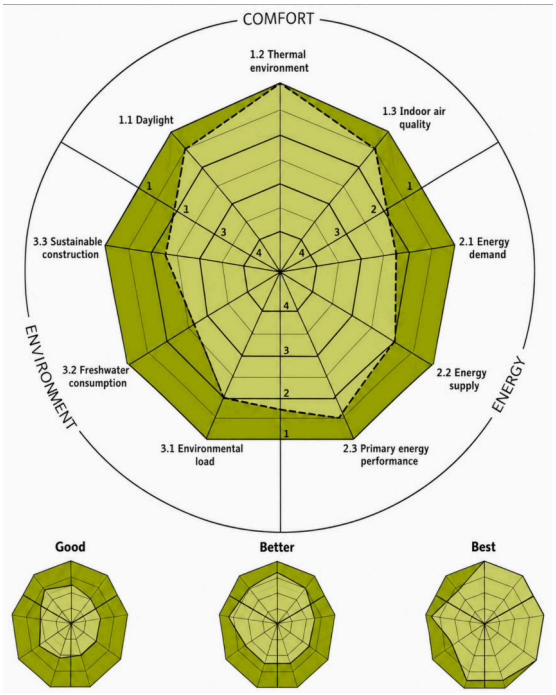


Fig. 02.05.67 - *Il* grafico Radar con i relativi parametri analizzati. *(Imperadori 2019, p. 76).*

Tutti questi parametri, insieme a molti altri, sono raccolti nel documento Active House Specifications, con elencati i valori minimi raggiungibili, i criteri di calcolo e di valutazione; essi dipendono dal contesto in cui ci si trova, per adattare la valutazione al caso climatico specifico in estate e in inverno. Un prototipo

[115] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 55.
[116] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 55.
[117] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, pp. 77-86-94-99.

famoso di Active House è stato RhOME, progettato dal team dell'università Roma Tre per la competizione Solar Decathlon del 2014 a Versailles, in Francia (Fig. 02.05.68); l'obiettivo è realizzare un modulo a bassissimo impatto e consumo energetico sfruttando apporti gratuiti e le proprietà dei materiali (Fig. 02.05.69) (Fig. 02.05.70). Sono proprio i materiali ad avere un ruolo chiave nel successo del sistema, per questo è assolutamente cruciale comprenderne le proprietà fisiche intrinseche degli stessi, così da prevedere le loro future prestazioni[118].

[118] Imperadori M. *et al.* (2019), *op. cit.*, p. 104.



Fig. 02.05.68 - RhOME per la competizione Solar Decathlon del 2014 a Versailles, in Francia. *(Imperadori 2019, p. 117).*

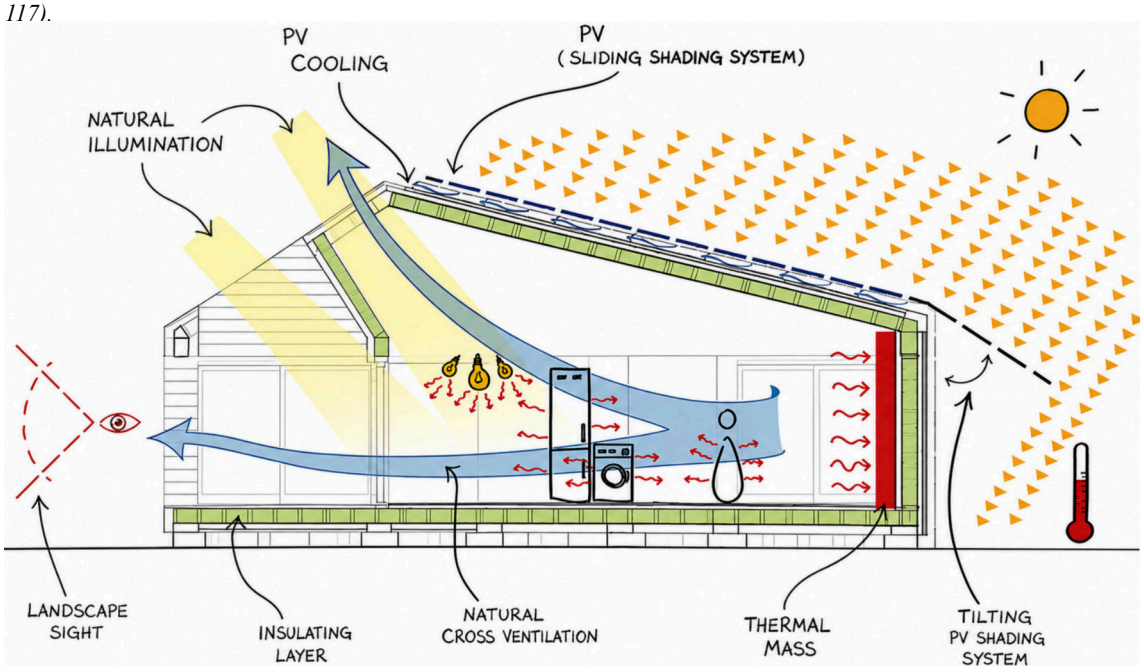


Fig. 02.05.69 - Schema grafico delle soluzioni adottate in RhOME per garantire un bassissimo consumo energetico. *(Imperadori 2019, p. 122).*

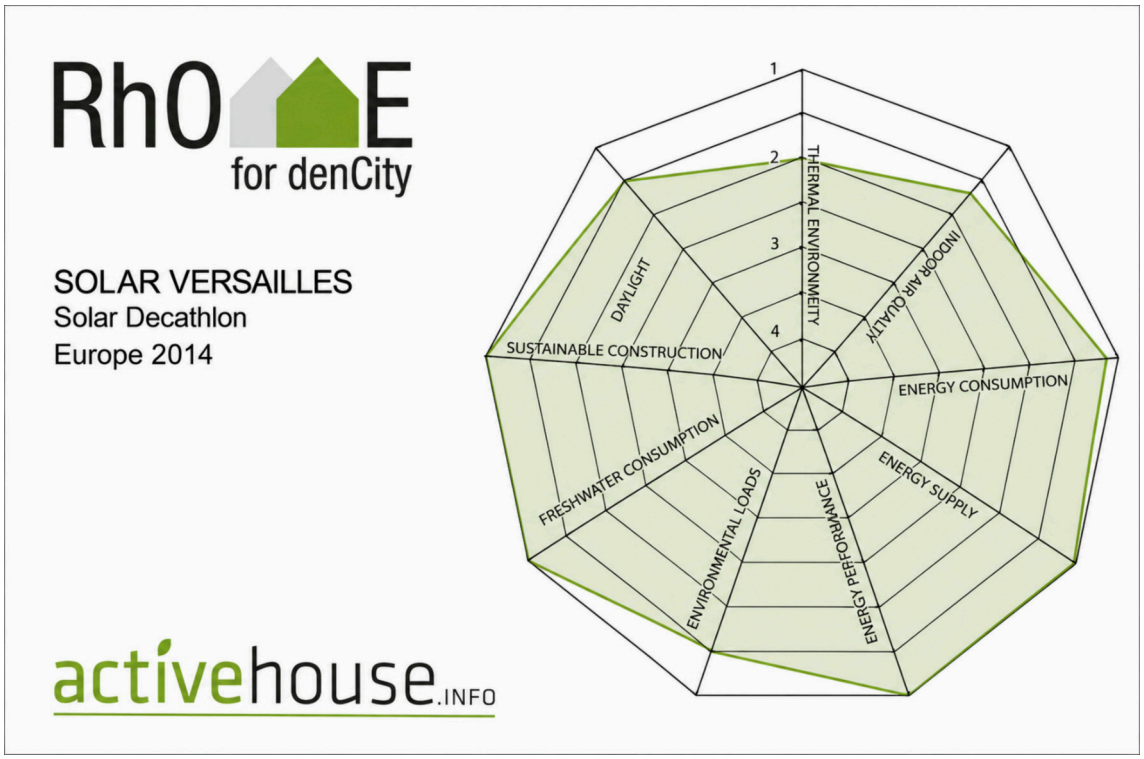


Fig. 02.05.70 - Grafico Radar di RhOME. *(Imperadori 2019, p. 122).*

5.2 La Fisica del Sistema: Edifici energeticamente efficienti

L'esplorazione dei principi tecnologici delle costruzioni a secco dal punto di vista geometrico dei componenti, i relativi fissaggi e materiali, costituisce la base per comprendere le dinamiche strutturali di un fabbricato, ma ad essi si aggiunge l'ingegnerizzazione dei pacchetti che determineranno le loro proprietà fisiche: termotecniche, acustiche e antincendio, volte a garantire il giusto livello di comfort in base alle diverse condizioni, ciò è garantito dalle certificazioni eseguite in stabilimento.

- Termotecnica. Nei confronti delle azioni energetiche, le stratificazioni S/R sfruttano il principio azione-reazione, come il sistema molla-massa, che permette a parità di spessore prestazioni superiori rispetto alla tipica soluzione massiva. Gli strati sono pensati come elementi deformabili elastici e componenti di stoccaggio dell'energia. Questa è una questione sempre più rilevante per via degli aumenti dei costi energetici derivanti dai combustibili fossili; il minor uso di essi comporta una minor dipendenza dalle variazioni di mercato degli stessi. Nel caso dei Paesi del centro e nord Europa, l'integrazione di sistemi stratificati a secco iper-isolati, inerzia termica e fotovoltaico ha prodotto generazioni di abitazioni energeticamente molto efficienti. Alcuni vantaggi dovuti alla stratificazione leggera dell'involucro sono: il miglioramento termoigrometrico, il comfort interno, la riduzione delle manutenzioni, minori spese di gestione e una maggior durabilità. Durante la stagione estiva è buona norma integrare nella parete di facciata un'intercapedine d'aria che per convezione ed effetto camino dissipa il calore; il risultato è rafforzato da una stratificazione retrostante di isolanti e strati che sfruttano l'inerzia come sfasamento termico, mentre nella stagione invernale sono gli isolamenti i protagonisti. In contesti montani la differenza con le soluzioni tradizionali è ancora più marcata; infatti, spesso i ristoratori nelle stagioni invernali si ritrovano a sopperire alle

mancanze dell'involucro tradizionale e al discomfort percepito mediante consumi di impianto davvero ingenti. Dal punto di vista costruttivo parliamo di strutture portanti in acciaio o legno, con corpi scala in cemento armato che fungono da controventamento e un involucro stratificato a secco. Poiché le differenze sono rilevanti rispetto alle soluzioni convenzionali, si può parlare di una vera rivoluzione in questo caso; per questo motivo che la combinazione tra struttura in cemento armato e involucro a secco è più facilmente accettata culturalmente nel contesto attuale, anche se il futuro prediligerà soluzioni più industrializzabili (Fig. 02.05.71)[119].

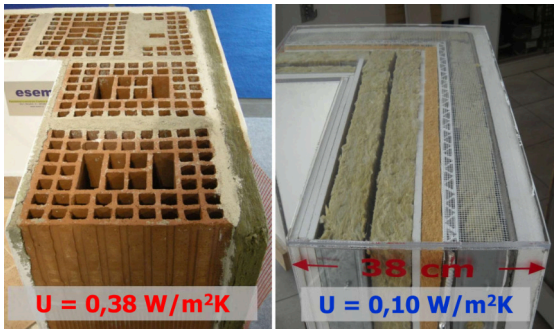


Fig. 02.05.71- Analisi comparativa e geometrica a parità di spessore (38 cm) tra un involucro massivo tradizionale in laterizio (a sinistra) e una stratigrafia iper-isolata a secco (a destra), dal punto di vista delle prestazioni energetiche di trasmittanza termica globale. *(Fonte: Berizzi M., I sistemi costruttivi a secco).*

- Acustica. In un edificio le caratteristiche di isolamento riguardano principalmente le facciate e le partizioni interne verticali e orizzontali; infatti, i rumori non provengono solo dall'esterno come il traffico, ma anche dall'immobile stesso, generati dagli occupanti o dagli impianti. Si tratta di problematiche evidenti e difficilmente risolvibili nelle costruzioni realizzate fra il 1950 e il 1960, ove si sente facilmente il calpestio dei confinanti o le voci, presentando condizioni che non sono più tollerabili nella normativa attuale (Fig. 02.05.72).

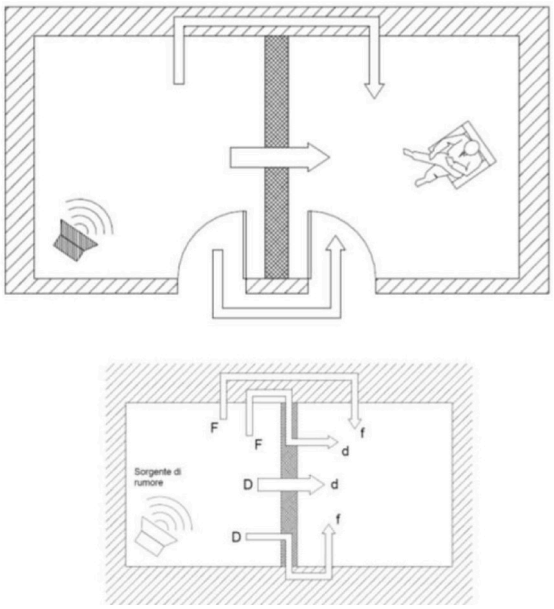


Fig. 02.05.72 - Schematizzazione delle direzioni di propagazione dell'onda sonora e percorsi di trasmissione laterale all'interno delle strutture di un manufatto edilizio. *(Fonte: Berizzi M., I sistemi costruttivi a secco).*

Gli isolanti fibrosi sono molto efficaci, come ad esempio le lane minerali che hanno un elevato potere fonoisolante. Spesso in casi di recupero di siti esistenti in latero-cemento si adottano soluzioni stratificate per sopperire alle problematiche in essi riscontrate; nei sistemi tradizionali è la pura massa che preclude un tentativo di isolamento, anche se la classica tramezza con mattoni forati non è sufficiente a raggiungere i livelli richiesti neanche se essa venisse raddoppiata. Una parete in cartongesso invece, pur presentando una massa ridotta, riesce a garantire prestazioni migliori sfruttando il principio elastico molla-aria-massa (Fig. 02.05.73).

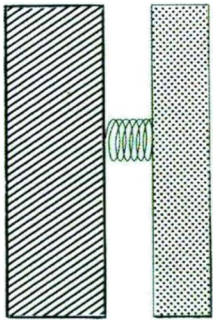


Fig. 02.05.73 - Schema del principio massa-molla-massa. *(Fonte: Berizzi M., I sistemi costruttivi a secco, Seminario presso il Politecnico di Torino, 18/03/2026).*

[119] Imperadori M. (1999), *op. cit.*, p. 106.

Questo rende anche più facile la posa e riduce le energie per spostare in cantiere tali soluzioni, e inoltre graveranno meno sulle strutture. L'aria contenuta all'interno si comporta come isolatore e dissipatore, ma si possono eventualmente aumentare le prestazioni sostituendo l'aria con fonoisolanti nell'intercapedine. Un problema simile lo si riscontra sui solai latero-cementizi, spesso risolto con controsoffitti contenenti fonoisolanti. Le soluzioni a secco, come visto, non sfruttano la massa, ma si basano su interruzioni di continuità solida fra i materiali, così che l'onda acustica non si propaghi[120].

- Antincendio. La normativa europea richiede che in caso di incendio il manufatto edilizio contenga le fiamme mediante la compartimentazione e ne impedisca la propagazione; contemporaneamente deve assicurare che la struttura rimanga coesa nonostante l'incendio, per garantire per un certo lasso di tempo la possibilità di evacuazione degli utenti. Gli elementi che garantiscono un'ottima protezione alle strutture e alle parti vitali sono le lastre in gesso (Fig. 02.05.74); questo perché, nonostante sembri un materiale asciutto, in realtà chimicamente contiene molta acqua, circa 3 litri d'acqua al metro quadrato. In caso d'incendio il gesso rilascia l'acqua sotto forma di vapore, il che frena l'aumento di calore che viene smorzato, con effetti percepibili sulla facciata opposta della lastra[121].



Fig. 02.05.74 - Gli strati di cartongesso proteggono passivamente la parete. *(Fonte: Berizzi M., I sistemi costruttivi a secco, Seminario presso il Politecnico di Torino, 18/03/2026).*

[120] Imperadori M. (1999), *op. cit.*, p. 117.
[121] Imperadori M. (1999), *op. cit.*, p. 121.

5.3 Le Tempistiche delle costruzioni Off-site

L'ottimizzazione dei pacchetti stratificati assolve tutte le esigenze di comfort senza l'impiego di partizioni massive, offrendo la possibilità di gestire la realizzazione con logiche totalmente diverse rispetto ai sistemi tradizionali, in particolare sulle tempistiche di realizzazione dell'opera. In un cantiere convenzionale, le opere inevitabilmente devono seguire un ordine preciso, se una rallenta, tutte le successive ne risentono; per esempio, non è possibile fare la copertura senza i piani sottostanti. Al contrario, con la metodologia off-site si potrebbe ottenere paradossalmente il tetto finito in stabilimento senza aver neanche realizzato le fondazioni. Ciò comporta un vantaggio radicale: è possibile realizzare tutte le componenti del futuro immobile contemporaneamente, per poi dedicare solo il tempo di posa nel sito con le eventuali finiture, niente di più. In questo modo il cronoprogramma si può ridurre del 25% o 50%, riducendo i rischi di mercato[122].

Il Design for Deconstruction (DfD) perciò deve studiare non solo che il prodotto si possa smontare, ma anche che lo si faccia con facilità e rapidità, altrimenti i costi di recupero non compenserebbero il valore del materiale stesso (Concept Design). Spesso, infatti, queste lavorazioni sono svolte manualmente e non da macchinari, dato che è necessaria la flessibilità umana per capire se gli elementi siano in buono stato e per adattarsi alle lavorazioni, essendo queste ultime più varie rispetto alla produzione iniziale con materiale vergine più prevedibile. Il Total Disassembly Time permette di quantificare i tempi necessari a eseguire l'operazione, così da calcolare l'efficacia e la convenienza dell'investimento di tempo; aiuta in questa direzione un design che renda facilmente accessibili le connessioni, e che renda queste ultime uniformate[123].

[122] Smith R. E., Quale J. D. (a cura di) (2017), *op. cit.*, p. 99-118.
[123] Johansson G. (2002), *op. cit.*, pp. 55-72.

5.4 Assemblaggio (DFA) vs Smontaggio (DfD)

Nonostante le due operazioni possano sembrare simili, in realtà differiscono su molti punti. Lo smontaggio, a differenza del montaggio, tratta elementi o componenti che hanno subito una vita d'uso e perciò potrebbero essere in parte usurati, sporchi, danneggiati o da ripristinare, mentre l'assemblaggio lavora su componenti di materiale nuovo; questo fa sì che nello smontaggio l'automazione dei processi sia difficoltosa. Mentre l'assemblaggio punta molto sulla precisione per garantire che l'elemento funzioni e sia durevole, lo smontaggio punta tutto sulla velocità massima per garantire il maggior beneficio nel recupero dei materiali stessi, per cui le due operazioni hanno finalità molto diverse. Inoltre, nella fase di montaggio si ha piena consapevolezza dei componenti e della loro collocazione, mentre durante lo smontaggio non sempre si conosce a pieno il prodotto e come si scompone; una uniformazione aiuterebbe molto su questo aspetto, oltre a una conoscenza totale del manufatto. Per tradurre queste necessità sul campo, la corretta applicazione della metodologia Design for Assembly DFA, prevede di evitare ritagli per aggiustamenti in cantiere, di promuovere dimensioni e pesi degli elementi consoni al trasporto e alla posa, si basa sulla ripetizione identica di certe mansioni e promuove la progettazione BIM per testare digitalmente la coesione dei componenti prima della produzione. La parte più critica è sicuramente il giunto, dove vi possono essere infiltrazioni di aria e acqua; per limitare ciò, si punta sulla precisione millimetrica dei componenti e sull'inserimento di guarnizioni nei punti di giunzione. Un esempio sono i pannelli sandwich poliuretanici che quando vengono affiancati presentano dei giunti lineari e dei ponti termici, per questo motivo, si interviene chiudendo ogni infiltrazione mediante delle schiume in poliuretano direttamente in sito. Il controllo delle giunzioni è vitale per garantire le prestazioni termiche, energetiche e acustiche; il giunto dovrà infatti resistere alle inevitabili variazioni dimensionali dei materiali, che comportano movimenti termici e variazioni per l'umidità[124]. Le fasi di smontaggio si susseguono con l'identificazione del connettore, la scelta dell'utensile e dell'approccio, ovvero come eseguire il contatto tra utensile e connettore, seguiti poi dall'allentamento, dalla separazione e, infine, dal trasferimento e posizionamento in un deposito. Tutte queste fasi devono essere studiate ponendosi l'obiettivo di ridurre queste operazioni al minimo con la massima velocità possibile. Questa qualità è garantita dalla facilità d'identificazione delle parti, dall'accessibilità immediata, dalla semplicità di separazione e dalla facilità di movimentazione, dove geometrie semplici permettono un agevole spostamento. Un aspetto spesso trascurato ma fondamentale è garantire il passaggio delle informazioni riguardo la modalità di Design for Deconstruction (DfD) da eseguire; spesso a fine vita gli operai non conoscono la strategia giusta, per cui è cruciale garantire questo passaggio bidirezionale informativo[125]. Infine, si può potenziare il DfD mediante una struttura modulare generale, non solo dei singoli componenti ma del sistema che assieme compongono, così che il sistema sia scomponibile in sottosistemi, a loro volta scomponibili nei singoli elementi. L'efficacia di questi accorgimenti dimostra come, al fine di realizzare un sistema decostruibile, sia sempre necessario determinare quali componenti saranno destinati al riciclo e quali al riuso, stilando una strategia a fine vita[126].

[124] Johansson G. (2002), *op. cit.*, pp. 185-187; Imperadori M. (2012), *Sandwich Architecture. Progettare e costruire con i pannelli sandwich poliuretanici*. Milano: Gruppo 24 Ore, p. 19.
[125] Johansson G. (2002), *op. cit.*, pp. 41-57.
[126] Johansson G. (2002), *op. cit.*, pp. 74-86.

5.5 La teoria della prefabbricazione applicata nella Progettazione

L'esplorazione estremamente approfondita condotta sui segreti dell'industrializzazione edilizia ha permesso di delineare i principi fondativi della prefabbricazione off-site, riscoprendo molte teorie generali formulate da figure di spicco come quelle sulla temporalità di Stewart Brand, e intrecciandole con le nuove necessità ambientali. Il passaggio successivo è stato addentrarsi nel particolare, passando dai sistemi costruttivi fino alla scomposizione dei componenti e dei dettagli fisici che caratterizzano i materiali. Questo percorso è stato integrato con le moderne richieste di qualità, permettendo di cogliere le enormi potenzialità offerte dalla tecnologia odierna e definendo come la figura del progettista sia chiamata a gestirla. Diventa ora fondamentale tradurre questi paradigmi in soluzioni reali nell'architettura contemporanea, facendo tesoro degli insegnamenti che gli studiosi del passato ci hanno lasciato in eredità.

Esplorazione del Mercato residenziale dell'edilizia prefabbricata, Wolf Haus e Rubner Haus

Gli errori del passato ci insegnano a dare uno sguardo ai problemi sociali del presente

Il seguente capitolo ha origine a seguito dell'analisi di una serie di casi di fallimento nel settore edilizio, citati nelle precedenti narrazioni. Essi furono il risultato di un mancato studio delle necessità attuali degli acquirenti, oltre che le loro problematiche sociali, come in particolare le loro disponibilità economiche e preferenze estetiche.

L'obiettivo del capitolo è di congelare la progettazione, per dedicarsi prima a capire cosa ha davvero bisogno l'acquirente e cosa si aspetta, per riuscire a sviluppare al meglio delle risposte coerenti con le dinamiche attuali.

01

Inquadramento sulle prospettive attuali dell'utilizzo dei sistemi prefabbricati

1.1 L'accesso alla casa è sempre più Costoso

Il presente lavoro fa emergere la fotografia della situazione italiana da diversi punti di vista economico e sociale e le relative ripercussioni a livello abitativo. Il tasso degli investimenti immobiliari per l'acquisto e la ristrutturazione delle abitazioni delle famiglie nell'UE è diminuito a partire dal 2008, condizionato da un aumento dei prezzi delle case del 15% dal 2010. Questo impianto economico ha fatto sì che la gestione immobiliare diventasse un onere sempre più pesante da sostenere per le famiglie; infatti, il 10% della popolazione spende ben il 40% o più del proprio reddito disponibile per l'abitazione[127]. Tale scenario è supportato dai dati emersi dal Rapporto Annuale ISTAT del 2026 sulla situazione italiana, il quale descrive un quadro molto chiaro, connotato da un crollo del potere d'acquisto pari a quasi il 10% rispetto a pochi anni prima (Fig. 03.01.75).

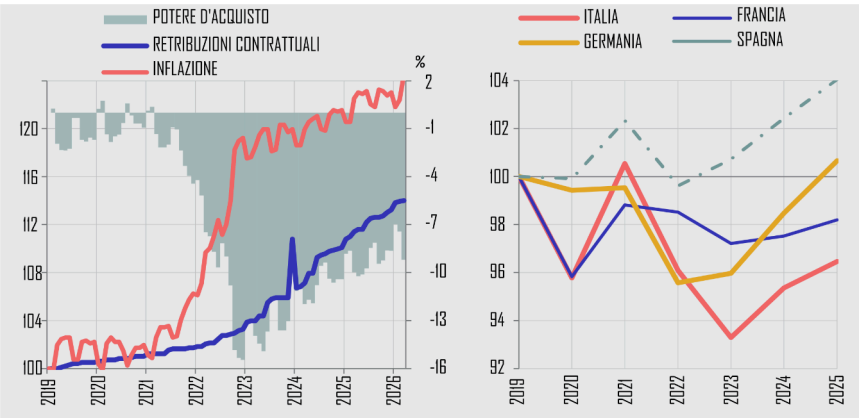


Fig. 03.01.75 - Il grafico di sinistra mostra come l'inflazione (linea rossa) abbia eroso i salari dei lavoratori italiani (linea blu), mentre il grafico a destra confronta l'andamento dei salari reali (Italia linea rossa). (Fonte: Rapporto Annuale Eurostat 2026, p. 33, elaborazione dell'autore).

[127] Eurostat - ISTAT, "Evolution of the housing market", in L'economia europea dall'inizio del millennio - un ritratto statistico, 2019, capitolo 2.3, disponibile all'indirizzo: https://www.istat.it/economia-europea-millennio/bloc-2c.html?lang=en.

Di conseguenza, la disponibilità di spesa nel mercato immobiliare si è ridotta, anche a causa di un'inflazione salita a quota 2,8%. Il numero di opportunità lavorative è cresciuto, portando però con sé retribuzioni molto basse, in alcuni casi inferiori ai 7.000 euro annui. Questo generale declino economico trascina con sé profondi mutamenti sociali, tra cui il crollo delle nascite stabili sul minimo storico di 1,14 figli per donna, l'accentuarsi del fenomeno noto come "fuga dei cervelli" e il progressivo invecchiamento del Paese, con inevitabili ripercussioni anche sul settore dell'innovazione[128].

Sulla medesima linea si colloca il Rapporto Coop 2025 (Associazione Nazionale Cooperative di Consumatori), che definisce questo periodo storico italiano come una vera e propria "età del caos". La definizione non è rassicurante ed evidenzia un generale senso di timore e preoccupazione per il futuro, alimentato dai conflitti e dalle crisi globali. I consumatori sono così spinti a contrarre le proprie spese, un fenomeno definito come "deconsumismo". A causa delle ingenti spese fisse, si stima infatti che la metà del budget familiare venga erosa dalle sole bollette energetiche, dai trasporti e dai beni alimentari, con questi ultimi cresciuti di ben 29,1% dal 2019. Le masse stanno di conseguenza riscoprendo l'usato e i beni di seconda mano, evitando gli acquisti superflui e l'ostentazione, per puntare a una maggior attenzione verso il valore intrinseco dei beni e alla volontà di ripararli, come dimostrato dal calo delle vendite annue di smartphone[129].

L'ansia da bolletta per gas, acqua e luce è cresciuta con la crisi energetica e ha spinto il 54,4% degli italiani a richiedere o desiderare abitazioni green sempre più performanti, con il fine di moderare le spese mensili di gestione. Infatti, per il 76,9% degli italiani le bollette dell'energia pesano in modo sproporzionato rispetto alle entrate (Fig. 03.01.76); si tratta di una preoccupazione comune sia per i ceti meno abbienti sia per la classe media.

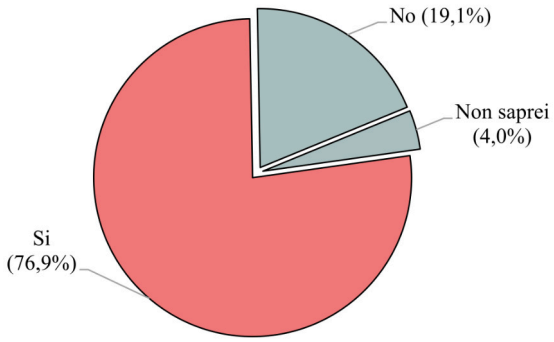


Fig. 03.01.76 - Italiani per i quali le bollette gravano troppo sul budget familiare. *(Fonte: Rapporto Annuale Censis 2025, p. 23, elaborazione dell'autore).*

Le criticità economiche, inoltre, creano enormi ostacoli per i giovani: senza l'aiuto economico da parte dei genitori, l'accesso alla prima casa rimane per loro quasi impossibile (Fig. 03.01.77).

[128] ISTAT, *Rapporto annuale 2026. La situazione del Paese*, Roma, Istituto Nazionale di Statistica, 2026, pp. 5-20, disponibile all'indirizzo: https://www.istat.it/wp-content/uploads/2026/05/Rapporto-annuale-2026-Ebook-9giugno2026.pdf.

[129] Ancc-Coop, *Rapporto Coop 2025: Consumi e stili di vita degli italiani di oggi e di domani*, a cura di A. Russo (Ufficio Studi Ancc-Coop) con la collaborazione scientifica di Nomisma, Roma, 2025, pp. 6-12, 17, 28-31, 37-50, 64-66, 71, disponibile all'indirizzo: https://italiani.coop/wp-content/uploads/2025/09/rapporto-coop-2025_AntDig.pdf.

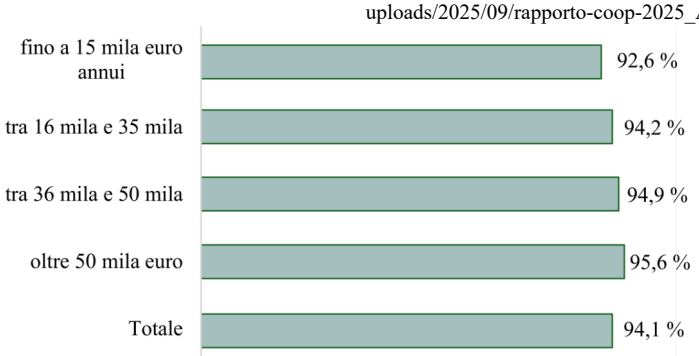


Fig. 03.01.77 - Italiani che sostengono che in mancanza di un supporto dato dalle famiglie, i giovani potranno difficilmente acquistare casa in autonomia (valori in %). *(Fonte: Rapporto Annuale Censis 2025, p. 19, elaborazione dell'autore).*

La necessità di risparmiare si ripercuote così anche nel settore residenziale, spingendo a preferire realtà immobiliari più contenute per poter sostenere tassi dei mutui sempre più soffocanti, o portando, nei casi più complessi, a rinunciare all'accoglimento di un figlio nel proprio nucleo familiare (Fig. 03.01.78)[130].

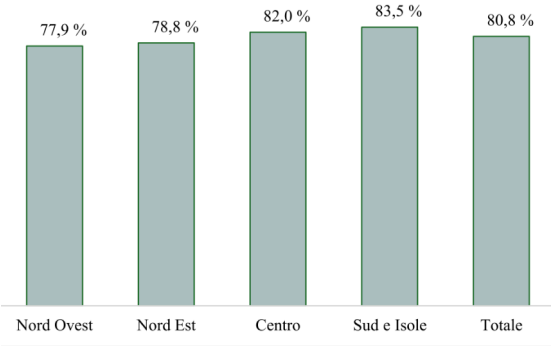


Fig. 03.01.78 - Italiani che ritengono necessario adeguare l'offerta di nuove case per single, coppie e piccole famiglie. *(Fonte: Rapporto Annuale Censis 2025, p. 24, elaborazione dell'autore).*

1.2 La necessità di Spazi Contenuti

Il mercato residenziale è fortemente correlato alle vicende economico-demografiche del Paese. I dati e i report ISTAT offrono un quadro molto chiaro, connotato da un generale calo delle nascite e dalla conseguente diminuzione dei componenti per nucleo familiare; si prevede, di conseguenza, una società ben lontana dal modello della famiglia tradizionale e numerosa con figli. I modelli statistici mostrano infatti un'esplosione del numero di single e di coppie nei prossimi decenni, la maggior parte delle quali senza figli. Nello specifico, le coppie senza figli passeranno dai 5,35 milioni del 2024 ai 5,92 milioni stimati nel 2040, diventando la fetta più rilevante della popolazione, al punto che supereranno numericamente i nuclei con figli (Fig. 03.01.79).

In parallelo, si preannuncia un inevitabile invecchiamento demografico a fronte di un aumento del numero totale dei nuclei familiari di circa un milione di unità. Questo fenomeno si traduce nel passaggio da una media di 2,3 componenti per nucleo a soli 2,1 nell'arco di quattordici anni. Il fattore principale che spinge verso il basso la curva media dei componenti è rappresentato dalle persone sole, che arriveranno a contare circa dieci milioni di individui, registrando una crescita del 17% per la componente maschile e del 23% per quella femminile. Tali mutamenti avranno profonde implicazioni sul piano sociale: se da un lato aumenterà la quota di anziani soli con necessità di cure e assistenza, dall'altro le giovani coppie sconteranno una crescente difficoltà nella gestione dei figli, sia dal punto di vista economico sia in termini di tempo, venendo spesso spinte a rinunciare alla genitorialità (Fig. 03.01.80)[131].

Questi dati si traducono in una richiesta futura sempre maggiore di abitazioni compatte e iperconfortevoli assimilabili a tagli funzionali come monolocali e bilocali, facili da gestire e caratterizzate da una necessità di manutenzione minima. Non a caso, alcuni produttori leader come Wolf Haus propongono oggi a catalogo modelli unifamiliari di taglia ridotta (classificati come "S" e "M"), con superfici utili comprese tra i sessanta e i cento metri quadrati. Questo scenario dimostra che non assistiamo soltanto a una netta contrazione dei membri nei nuclei, ma a un vero e proprio cambiamento nel modello di vita delle nuove generazioni, sempre più orientato ai valori della salute, dello sport, del benessere e dell'attenzione globale alla qualità della vita[132].

[130] Censis - Federproprietà, "4° Rapporto Federproprietà-Censis. Case dormienti, una ricchezza sommersa: proposte per risvegliare il mercato degli affitti non turistici in Italia. Sintesi dei principali risultati", Roma, 10 dicembre 2025, pp. 7-9, disponibile all'indirizzo: https://www.censis.it/wp-content/uploads/2025/12/Rapporto-Federproprieta-Censis-2025.-Sintesi-dei-principali-risultati.pdf.

[131] ISTAT, "Previsioni delle famiglie per regione - Base 1/1/2024", *Demografia in cifre*, 2024, disponibile all'indirizzo: https://demo.istat.it/app/?i=PRF&l=it.

[132] M. Lo Conte, M. Marsili, G. Corsetti, E. Meli, "Expected developments in the number and type of Italian households until 2040", in Rivista di Statistica Ufficiale / Review of Official Statistics, n. 1-2-3/2023, Istat, pp. 5-34, disponibile all'indirizzo: https://www.istat.it/wp-content/uploads/2023/12/RSU-1-2-3-2023-Article1.pdf.

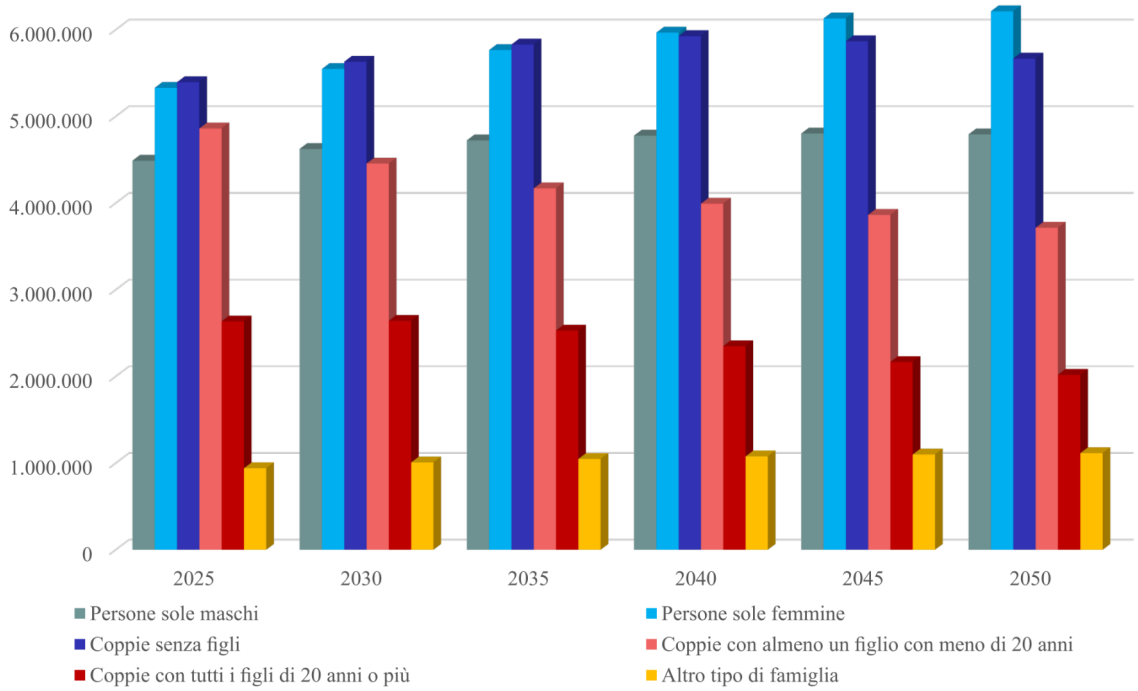


Fig. 03.01.79 - Previsioni demografiche sull'evoluzione delle tipologie familiari in Italia a intervalli quinquennali (2025-2050). Il grafico mostra la marcata tendenza all'aumento di persone sole e delle coppie senza figli, viceversa, si registra una contrazione delle famiglie con figli, specialmente quelle con figli minori di 20 anni. *(Fonte: Istat previsioni delle famiglie, elaborazione dell'autore 2026).*

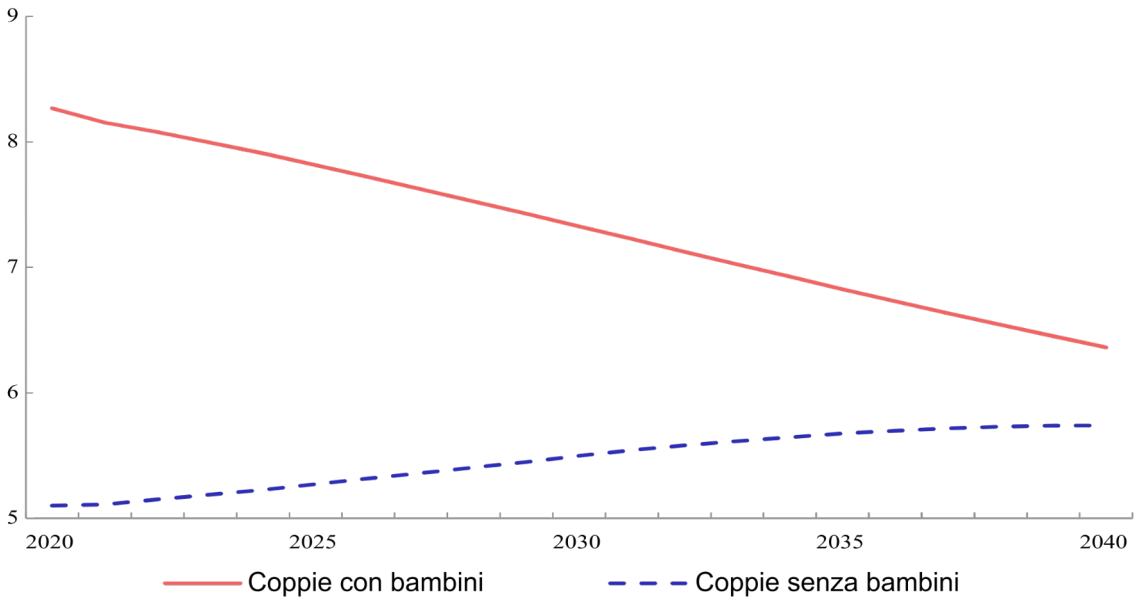


Fig. 03.01.80 - Il grafico ad intervalli quinquennali (2020-2040) evidenzia un allarmante declino delle coppie con bambini (linea rossa), e in parallelo si registra una crescita progressiva delle coppie senza figli (linea blu). *(Fonte: Rivista di Statistica Ufficiale Istat n. 1-2-3/2023, p. 29, elaborazione dell'autore).*

1.3 La voglia di maggior Flessibilità e Sport

I cambiamenti sociali non si limitano al solo piano demografico: si sviluppa infatti anche una maggiore attenzione nei confronti della qualità della vita, come ad esempio a livello lavorativo. La pandemia ha offerto la possibilità di sperimentare lo smart working, soluzione che è stata molto apprezzata, al punto che sempre più lavoratori, al termine dell'emergenza sanitaria, hanno richiesto di orientarsi verso questa impostazione. Oggi oltre il 13,8% degli occupati lavora da remoto, quota che sale a quasi il 40% nelle grandi città, trasformando la casa in un luogo anche lavorativo e non più solo rigenerativo. Nel 2024 il 53% delle imprese nell'UE ha tenuto riunioni a distanza sulle diverse piattaforme digitali, la concentrazione di tali attività fra i vari Paesi non è casuale, ma rispecchia fedelmente gli Stati che presentano le migliori condizioni di vita, come i Paesi del Nord. In Finlandia, ad esempio, la modalità da remoto coinvolge oltre il 20,9% dei lavoratori, seguita da Paesi Bassi, Irlanda, Svezia e Danimarca. Questi dati dipendono tuttavia anche dalla struttura economica di ciascuna nazione; infatti, la tendenza allo smart working si concentra nei settori tecnologici e dell'economia della conoscenza, mentre al contrario risulta difficoltosa nell'ambito della manifattura fisica, del turismo o del commercio. Inoltre, nei Paesi del Nord, le problematiche riscontrate nei trasporti a causa delle rigide condizioni climatiche rendono preferibili spostamenti limitati, rimanendo confinati nel proprio domicilio. Le abitazioni dovranno così adeguarsi alle nuove necessità dell'utente futuro, garantendo uno spazio apposito da dedicare al lavoro da remoto e agli incontri online, o predisponendo spazi reversibili e impiegabili per più usi (Fig. 03.01.81)[133].

Il modello di vita nordico riesce a conciliare al meglio tempo libero, lavoro e gestione dei figli, garantendo uno stile di vita superiore rispetto ad altri contesti europei, la chiave di volta risiede nella diminuzione delle ore lavorative, che passano da una media di quaranta a circa trentatré o trentasei settimanali, con orari standard dalle 8:00 alle 16:00. Ciò offre l'opportunità a entrambi i genitori di crescere i figli e di vivere

[133] ISTAT, "Smart working: da necessità a nuovo stile di vita", Statistiche Today, Roma, Istituto Nazionale di Statistica, 25 febbraio 2026, pp. 1, 4, 7, disponibile all'indirizzo: https://www.istat.it/wp-content/uploads/2026/02/Lavoro-da-remoto_DEF.pdf (consultato il 22 giugno 2026); Cfr. anche Eurostat, "53% of EU enterprises held remote meetings in 2024", Eurostat News Articles, 14 maggio 2025, disponibile all'indirizzo: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250514-2.

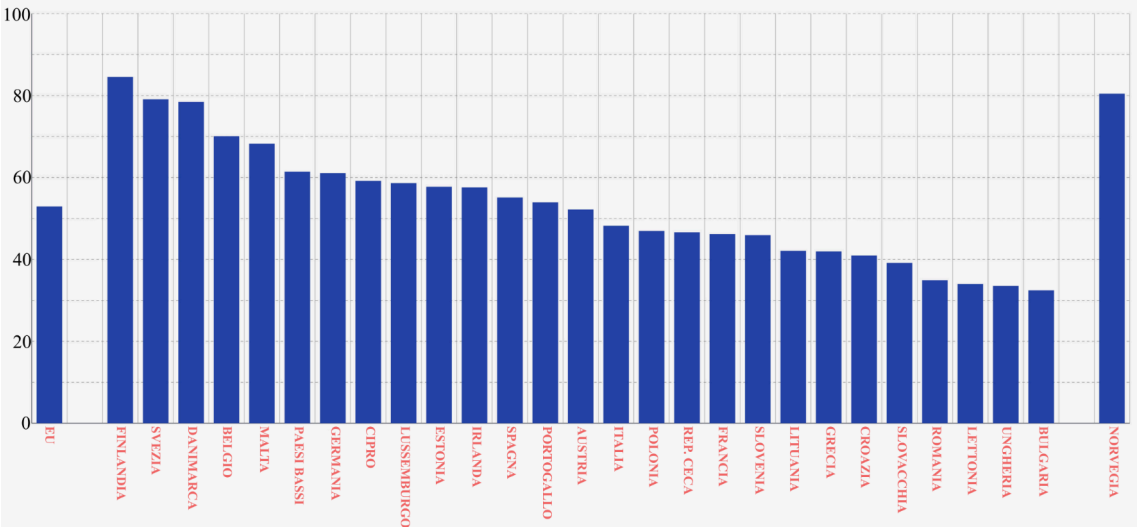


Fig. 03.01.81 - Il grafico mostra la percentuale di imprese con 10 o più dipendenti che hanno svolto riunioni a distanza tramite incontri online nei paesi dell'Unione Europea (2024), risaltano i paesi nordici, come Finlandia (85%), Svezia (79%), Danimarca (78%) e Norvegia (80%). *(Fonte: Rapporto Eurostat del 14 maggio 2025, nel 2024 il 53% delle imprese dell'UE ha tenuto riunioni a distanza, elaborazione dell'autore).*

attivamente la famiglia, il pomeriggio viene percepito socialmente come un momento sacro da dedicare a sé stessi, allo sport e alla vita all'aria aperta. Dato che i figli e i genitori condividono molto tempo insieme, risultano nettamente più efficaci gli spazi aperti, capaci di garantire il contatto visivo e acustico costante all'interno del nucleo familiare (Fig. 03.01.82)[134].

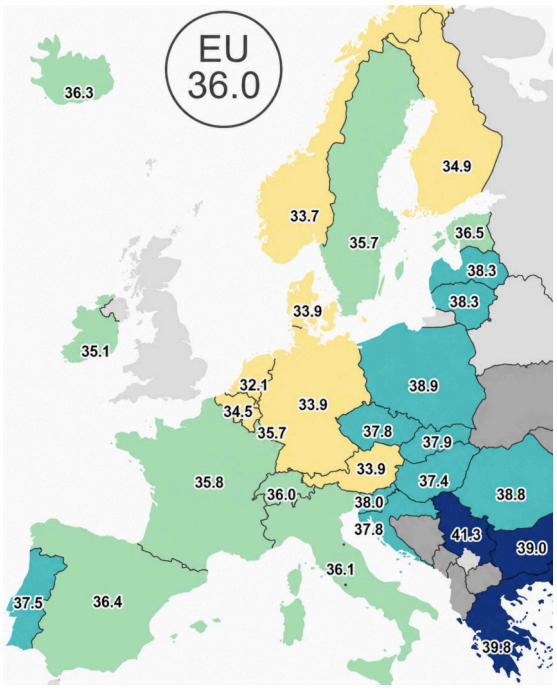


Fig. 03.01.82 - Italiani che ritengono necessario adeguare l'offerta di nuove case per single, coppie e piccole famiglie. *(Fonte: Rapporto EUROSTAT del 14 maggio 2025, in media i cittadini dell'UE lavorano 36 ore a settimana, elaborazione dell'autore).*

Lo sport, d'altronde, sta diventando una pratica che accomuna sempre più gli italiani: ben due persone su tre scelgono uno stile di vita attivo secondo il Rapporto Sport 2025, segnalando un settore in enorme crescita che vale l'1,5% del PIL. È sempre più diffuso l'inserimento settimanale di appuntamenti sportivi in modo continuativo, vissuto come una vera e propria leva di inclusione e di salute (Fig. 03.01.83). Tale tendenza si manifesta non solo nelle palestre ma anche nelle proprie abitazioni, dove vengono preferiti gli spazi open-space per svolgere attività come yoga, pilates e fitness. Le soluzioni architettoniche favorite risultano quindi gli ampi soggiorni con cucina a vista, meglio se concepiti come ambienti ibridi adatti a dedicare spazio allo smart working e allo sport. Al contempo, queste configurazioni garantiscono un'elevata facilità manutentiva e gestionale della casa, permettendo agli utenti di godere del maggior numero possibile di ore libere per sé stessi[135].

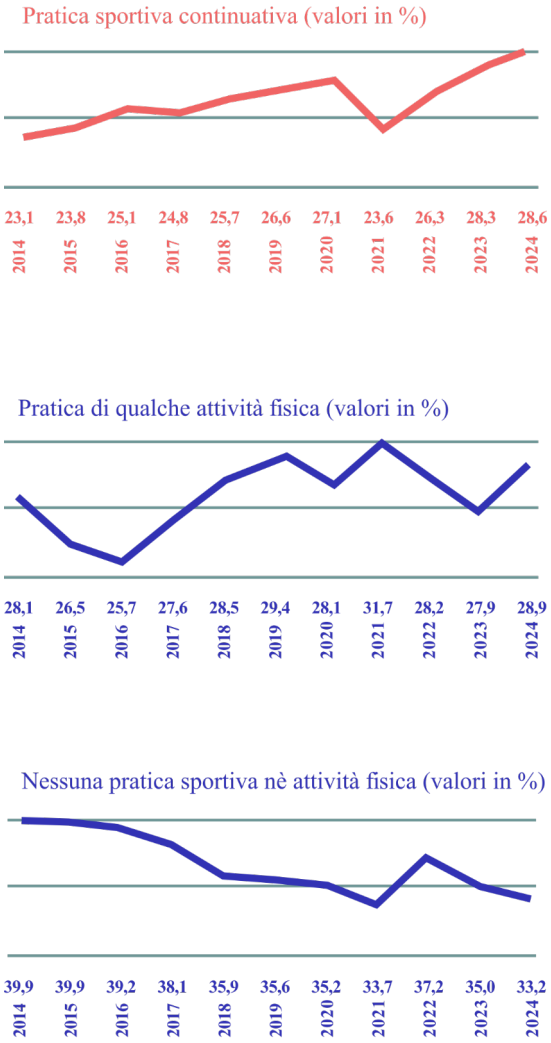


Fig. 03.01.83 - Evoluzione dei livelli di pratica sportiva e sedentarietà della popolazione in Italia (2014-2024). I grafici delineano la tendenza ad una vita sempre più sportiva e regolare con la conseguenza di una riduzione della quota di sedentarietà. *(Fonte: Centro Studi Sport e Salute su dati Istat, in Rapporto Sport 2025, p. 34, elaborazione dell'autore).*

[134] Eurostat, "People in the EU worked on average 36 hours per week", *Eurostat News Articles*, 14 maggio 2025, disponibile all'indirizzo: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250514-1.

[135] Istituto per il Credito Sportivo e Culturale - Sport e Salute, "Rapporto Sport 2025. Due italiani su tre scelgono uno stile di vita attivo, sedentarietà ai minimi storici. Il settore sportivo vale l'1,5% del PIL", *Sport e Salute Primo Piano*, 29 gennaio 2026, disponibile all'indirizzo: https://www.sportesalute.eu/primo-piano/rapporto-sport-2025-due-italiani-su-tre-scelgono-uno-stile-di-vita-attivo-sedentarieta-ai-minimi-storici-il-settore-sportivo-vale-l1-5-del-pil.html.

1.4 La casa acquistata con un click

La tendenza delle nuove generazioni (Generazione Z e Millennials) in Italia evidenzia un ricorso sempre maggiore all'e-commerce per l'acquisto di beni e servizi. Nello specifico, gli articoli per la casa, l'arredamento e i prodotti per il giardinaggio raggiungono il 10,3% sul totale degli articoli acquistati online. I nuovi acquirenti sono ormai strutturalmente abituati alla navigazione su piattaforme digitali ricche di dati, che offrono possibilità di confronto immediato tra le opzioni disponibili.

Fra i vantaggi di questo modello applicato al settore immobiliare, vi è una maggiore accessibilità da parte di una clientela più ampia e la comodità di poter visualizzare in tempo reale, direttamente da casa, l'aspetto finale dell'opera, offrendo così una totale trasparenza sul prodotto. Inoltre, questo approccio agevola il cliente nel compiere rapidamente confronti tra varie alternative architettoniche, analizzando i pro e i contro in totale autonomia decisionale. In grande sviluppo sono i tour a 360° supportati dalla realtà aumentata, che garantiscono un'immersione concreta nel progetto senza lasciare spazio a immaginazione o dubbi comodamente da remoto. Questo nuovo approccio digitale può aprire molteplici opportunità nel settore della prefabbricazione off-site: offre infatti la possibilità di configurare a piacimento il layout interno o l'arredamento, rendendo il cliente partecipe in prima persona della progettazione della propria casa. Al contempo, il modello garantisce la definizione immediata di un prezzo fisso e contrattualizzato e la certezza dei tempi di consegna, assimilando l'acquisto dell'organismo abitativo all'efficienza di un moderno servizio d'acquisto online[136].

[136] ISTAT, "E-commerce in Italia: quali sono i prodotti più venduti online?", *News Dati alla mano*, Roma, Istituto Nazionale di Statistica, 30 marzo 2023, disponibile all'indirizzo: https://www.istat.it/news-dati-alla-mano/e-commerce-in-italia-quali-sono-i-prodotti-piu-venduti-online/.

1.5 Disponibilità finanziaria per l'acquisto della casa

Nonostante il processo di acquisto online di un'abitazione risulti chiaro, esaustivo, veloce e trasparente nella definizione dei costi, il vero collo di bottiglia rimane legato alle reali disponibilità economiche degli acquirenti. Questo vincolo finanziario comporta scelte architettoniche consapevoli, atte a generare un'offerta di mercato coerente. Secondo le ricerche sul comparto residenziale pubblicate dall'Agenzia delle Entrate, le transazioni negli ultimi anni per l'acquisto dell'abitazione sono cresciute del 6,4%, soprattutto in Lombardia, Lazio, Piemonte e Toscana. Il fatturato medio per unità immobiliare equivale a circa 162mila euro e quasi la metà degli acquisti avviene tramite mutuo ipotecario, con una crescita di questo dato pari al 18,3% su base annua rispetto alle transazioni precedenti[137].

Al fine di determinare il taglio più ambito dalle famiglie italiane, i dati statistici dell'Osservatorio del mercato immobiliare ci offrono un quadro molto chiaro. La maggior parte degli immobili acquistati è di piccola-media dimensione, con superfici comprese fra i 50 metri quadri e gli 85 metri quadri, e al massimo salgono a un massimo di 115 metri quadri (Fig. 03.01.84).

Le metrature sono definite secondo i metri quadri commerciali, quindi includendo pareti ed eventuali balconi, terrazze e cantine, perciò la superficie calpestabile effettiva è ancora più contenuta. La situazione rispecchia i dati precedenti: le difficoltà economiche, oltre che la contrazione dei nuclei familiari, hanno portato a queste nuove necessità dimensionali[138].

[137] Alessio Frusciante, "Mercato immobiliare residenziale: andamento 2025 regione per regione", Fisco Oggi, 5 giugno 2026, disponibile all'indirizzo: https://www.fiscooggi.it/portale/-/mercato-immobiliare-residenziale-.

[138] Agenzia delle Entrate, *Statistiche regionali 2026. Il mercato immobiliare regionale: Piemonte*, a cura della Direzione regionale Piemonte (Roma: Agenzia delle Entrate, 5 giugno 2026), https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/documents/

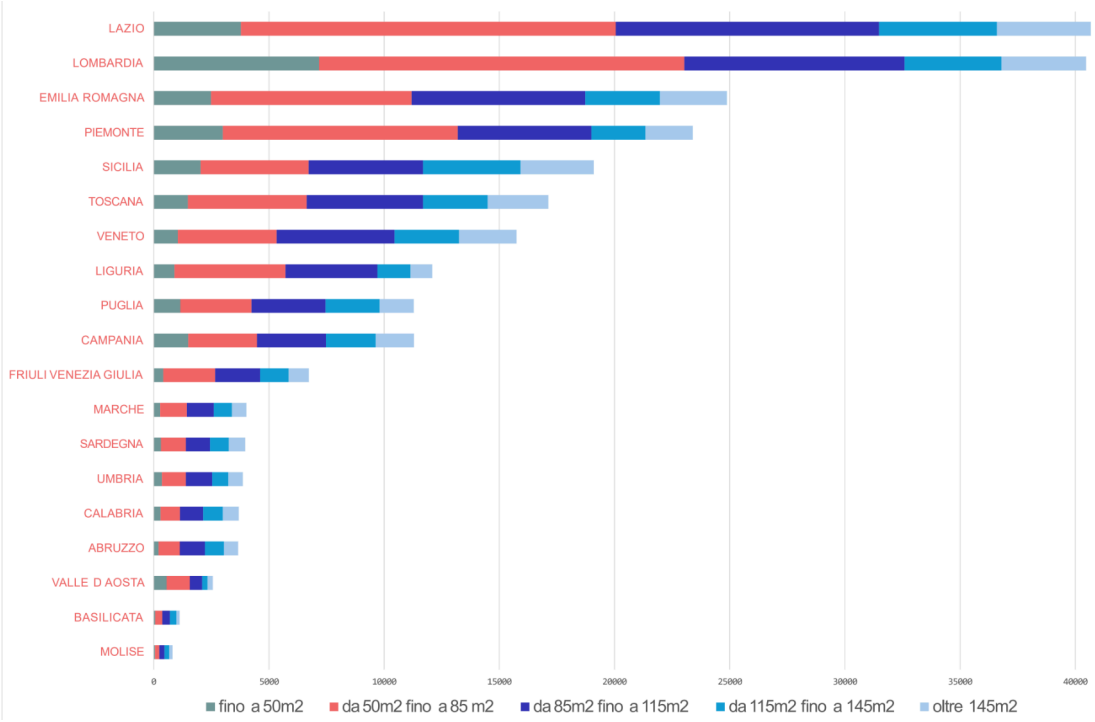


Fig. 03.01.84 - Il grafico mostra il taglio delle compravendite di immobili per regione, offrendo un quadro a livello nazionale sul mercato, si denota la prevalenza di compravendite su immobili fra i 50 metriquadri e gli 85 metriquadri, e in secondo posto da 85 m2 a 115 m2, in tutto il territorio italiano. *(Fonte: Statistiche regionali dell'Osservatorio del mercato immobiliare dell'AgenziaEntrate del 2026, elaborazione dell'autore).*

Se incrociamo i dati del valore medio per immobile e la metratura mediamente più acquistata, possiamo dedurre una soglia indicativa al metro quadro media che le famiglie italiane possono permettersi, di circa 2000 euro al metro quadro (160mila diviso 80 metri quadri), incluse le spese del terreno, professionisti e ogni altro onere accessorio.

1.6 Osservazioni e ragionamenti

In conclusione, nel mercato immobiliare così come in qualsiasi altro settore industriale a determinare il successo di una strategia è l'intero contesto di riferimento, e non il singolo prodotto in sé, considerando l'insieme dei cambiamenti sociali, economici e normativi. In questo percorso d'analisi sono stati affrontati i principali fenomeni che stanno alterando, e altereranno nei prossimi decenni, le dinamiche delle compravendite residenziali. L'esigenza chiave espressa dalla società contemporanea è quella di possedere un'abitazione che sia il più possibile efficiente, caratterizzata da un basso investimento manutentivo in termini di tempo e di costi, e autosufficiente dal punto di vista energetico. Al contempo, l'organismo edilizio deve dimostrarsi economicamente accessibile, puntando su soluzioni spaziali flessibili e adatte a molteplici usi quotidiani, senza tuttavia incorrere in tagli di superficie eccessivi.

20143/10101383/SR2026_PIEMONTE.pdf/96dd9c77-e534-b6ab-8f7d-9f5c44aaa822?t=1780658598080.

02
Wolf Haus

2.1 Le origini dell'azienda

Fig. 03.02.85 - Marchio ufficiale dell'azienda Wolf Haus, selezionata come caso studio. (*Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort*).

Il gruppo Wolf (Fig. 03.02.85) si sviluppa nel dopoguerra, fondato da Johann Wolf (1933-2014), contadino di nascita ma appassionato di tecnologia, dedica la sua vita per migliorare le condizioni lavorative contadine. Il fondatore, infatti, avviò l'attività nel marzo del 1966 nell'azienda agraria di famiglia, iniziando a realizzare strutture in c.a. come silos, vasche per liquami, stalle, fienili. Allo stesso tempo brevetta nuovi sistemi costruttivi, ideando un sistema prefabbricato in legno servendosi di appositi macchinari che man mano migliora, e la svolta derivò dall'intuizione di trasferire le sue abilità nel campo residenziale. A differenza delle altre realtà, dove le abitazioni in legno erano povere e di scarsa qualità, lui puntò al comfort abitativo, all'inizio erano di conformazione semplice, ma poi sviluppò dieci modelli standardizzati ad alte prestazioni, addirittura superiori al tradizionale e iniziò così il suo successo. La progressiva espansione a livello internazionale (Fig. 03.02.86) portò nel 1979 all'apertura dello stabilimento ad Osterhofen in Bassa Baviera che servì il più importante mercato della Germania. In Italia, la sede si è consolidata nel campo di Trens, vicino a Vipiteno, nel quale vengono realizzati edifici residenziali, capannoni, silos, vasche e depuratori per impianti (Fig. 03.02.87)[139].



Fig. 03.02.86 - Struttura portante di copertura di un capannone con capriate reticolari dirette per la Francia. (*Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 12-13, rielaborazione dell'autore*).

[139] Wolf Haus, *Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort*, Campo di Trens (BZ), Wolf System S.r.l., 2023, p. 11.



Fig. 03.02.87 - La sede dell'azienda al campo di Trens (BZ). (*Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 14-15, rielaborazione dell'autore*).

Oggi l'azienda vanta una struttura molto articolata ed efficiente, integrata con tecnologie all'avanguardia, il flusso operativo si articola in quattro fasi principali:

- Fattibilità e Preventivazione. Analisi preliminare del progetto del cliente, in tutti i suoi aspetti, dalla fattibilità statica alla sostenibilità economica, per poi elaborare un preventivo dettagliato, preciso e trasparente.

- Progettazione BIM e Finiture. Sviluppo del modello 3D dettagliato, integrando le tre macroaree: statica, impiantistica e architettura, il tutto all'interno dei reparti tecnici aziendali, nel frattempo il cliente viene accompagnato alla scelta delle finiture, immergendolo nello showroom dedicato e seguito dal personale tecnico.

- Produzione OFF-SITE. Sulla base dei dettagli costruttivi e del progetto, lo stabile viene scomposto in molteplici componenti poi prodotti in stabilimento mediante l'ausilio di macchinari specifici e operai, che hanno il compito di assemblare le parti completi di cappotto, infissi e oscuranti.

- Montaggio e Consegna. L'ultima fase condotta dagli operai e seguita da Manager prevede di trasportarle in cantiere gli elementi, pronti per il montaggio. questo sistema super efficiente consente di consegnare l'opera in tempi molto brevi e soprattutto prevedibili e definibili a monte in fase di progetto[140].

[140] Wolf Haus, *Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort*, Campo di Trens (BZ), Wolf System S.r.l., 2023, p. 22-23.

2.2 I Sistemi Costruttivi e Soluzioni Tecnologiche

Dal punto di vista costruttivo e tecnologico, Wolf Haus propone una serie di soluzioni, elaborate e migliorate nel corso di sperimentazioni sul campo, puntando sempre alla perfezione investendo sulla ricerca.

L'elemento cardine che caratterizza l'azienda è la parte Mega-Wand (Fig. 03.02.88), presenta delle performance eccezionali con una trasmittanza fra lo 0.14 e 0.10 W/metro quadro K, una resistenza al fuoco REI 60 a 120 e un isolamento acustico dai 46 ai 65 dB. Queste prestazioni sono garantite dalla sua stessa composizione a strati, la struttura è composta da montanti in legno lamellare, fra di essi si alternano strati isolanti di minerali naturali come fibra di legno, lana di roccia, lana di pecora o fibra di canapa. Il tutto è rivestito da ambo i lati da un pannello OSB, dal lato esterno segue un cappotto in EPS o in fibra di legno, lana di roccia o sughero; dall'interno invece il pannello OSB è preceduto da una membrana freno vapore, mentre successivamente all'OSB si sussegue uno strato contenente gli impianti racchiusi dietro ad un pannello in gesso. L'intera stratigrafia varia dai 31 ai 42 cm di spessore.

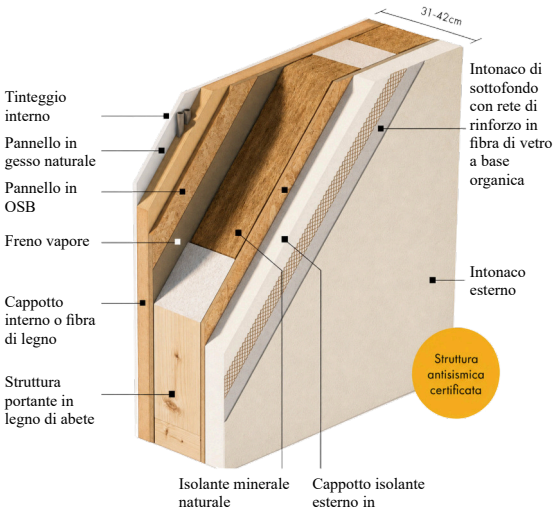


Fig. 03.02.88 - Stratigrafia parete Mega Wand. (*Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 60, rielaborazione dell'autore*).

La parete divisoria interna invece ha una struttura semplificata rispetto alle pareti esterne, ma al contempo offrono ottime prestazioni termiche e acustiche, essa è composta da una struttura metallica, alternata da un isolante minerale naturale, il tutto rivestito da pannelli in gesso naturale e tinteggiati (Fig. 03.02.89).

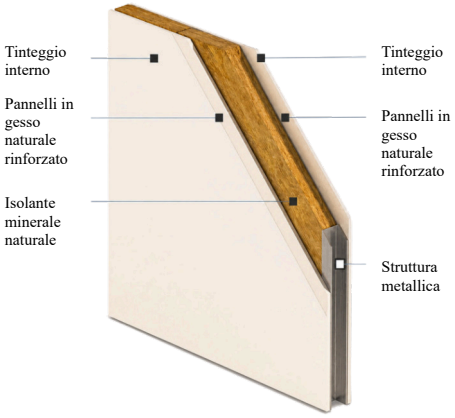


Fig. 03.02.89 - Stratigrafia parete interna. (*Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 64, rielaborazione dell'autore*).

Come per le pareti il solaio è chiamato a sopportare i carichi ma anche di isolare termicamente e acusticamente gli ambienti, esso è composto da una travatura portante in legno di abete, anch'essa come nei casi precedenti è alternata da isolanti minerali, sopra di esse poggia il pannello di OSB e una guaina protettiva. Su di esso si posa un massetto alleggerito contenente gli impianti, segue un isolante acustico, il massetto cementizio e le finiture (Fig. 03.02.90).

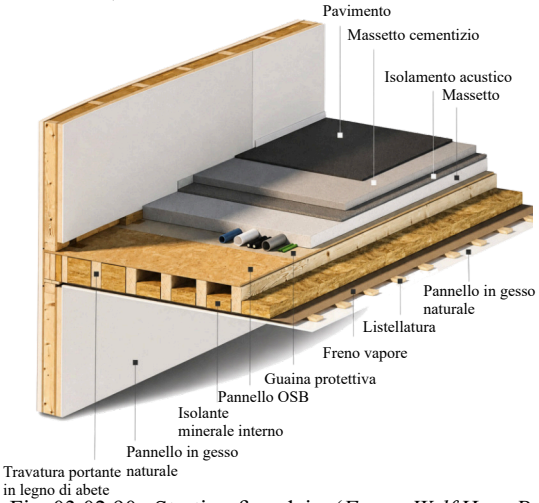


Fig. 03.02.90 - Stratigrafia solaio. (*Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 65, rielaborazione dell'autore*).

Le coperture si suddividono principalmente in tre tipologie, il tetto a capriate, il tetto tradizionale e la copertura piana. Il primo permette una maggiore prefabbricazione e economicità, oltre che geometricamente offre più volume di aria tra l'esterno e i locali interni isolandoli in maniera più marcata rispetto alle alternative, inoltre offre la possibilità di distribuire una enorme quantità di isolamento (Fig. 03.02.91). Il secondo invece al contrario è perfetto per tetti a vista o per mansarde data l'impatto estetico, ma a piacimento del cliente è possibile foderarlo con lastre in gesso per nasconderlo (Fig. 03.02.92). Il tetto piano invece presenta una struttura simile al solaio ma dopo OSB si posa un isolante di 100 mm, una guaina in PVC e infine la ghiaia o strato vegetale. Oltre ai sistemi a telaio l'azienda offre soluzioni miste acciaio-legno, oppure sistemi massicci in x-lam, con i quali sono realizzati pareti, solai e coperture[141].

In ausilio a un progetto dell'involucro maniacale, il comfort è garantito con l'implementazione strategica degli impianti e la domotica, permettendo al contempo di rendere l'immobile autosufficiente dal punto di vista energetico. Gli edifici, infatti, producono più energia rispetto a quella che consumano per il loro fabbisogno energetico primario (riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria), ad esempio controllando la ventilazione meccanica e le schermature solari, abbattendo così le spese di gestione in modo netto[142].

[141] Wolf Haus, *Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort*, Campo di Trens (BZ), Wolf System S.r.l., 2023, p. 60-69.

[142] Wolf Haus, *Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort*, Campo di Trens (BZ), Wolf System S.r.l., 2023, p. 39.

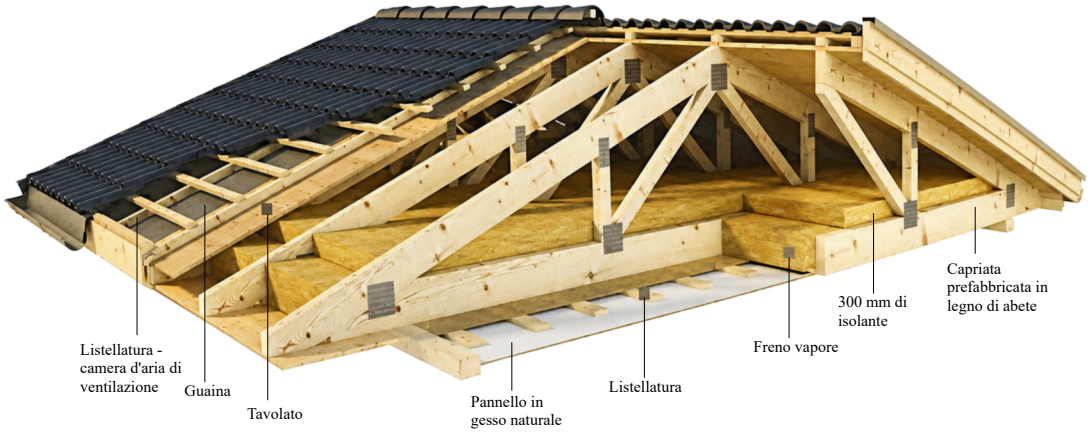


Fig. 03.02.91 - Copertura a capriate. (*Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 68, rielaborazione dell'autore*).

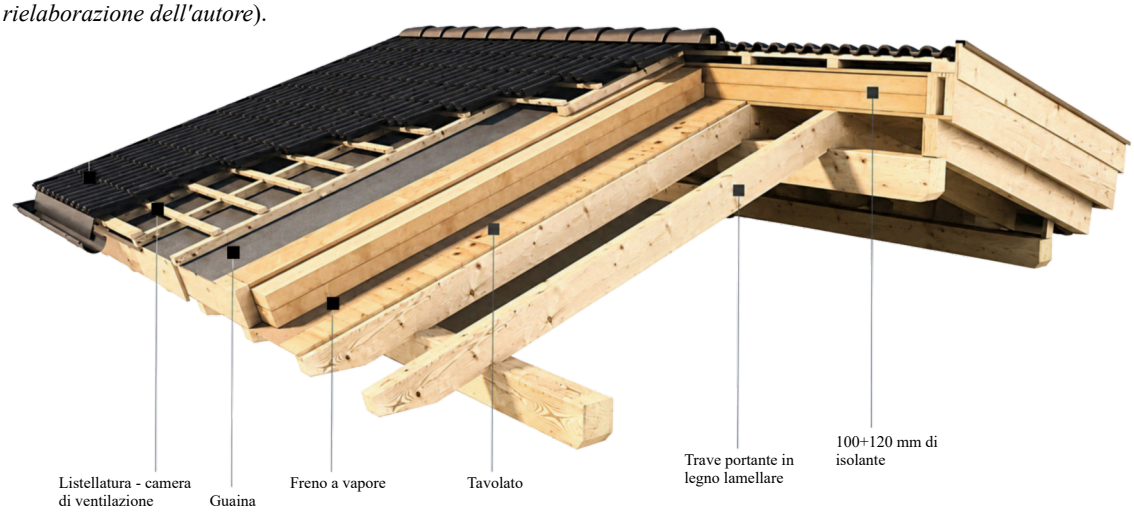


Fig. 03.02.92 - Copertura tradizionale. (*Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 68, rielaborazione dell'autore*).

2.3 Il comportamento al sisma e incendi

I sistemi Wolf Haus godono di ampio riconoscimento a livello internazionale, per i risultati ottenuti nelle ricerche in ambito di sicurezza sismica e sulla resistenza al fuoco. Wolf Haus è l'unico produttore ad aver sottoposto un edificio reale a quattro piani completo di finiture, a test sperimentali su tavola vibrante presso il centro di ricerca Eucentre di Pavia. La struttura ha resistito indenne a 7 scosse sismiche consecutive con accelerazioni di picco pari a 1,48 g (superiori all'intensità del terremoto dell'Aquila del 2009), senza registrare lesioni strutturali o fessurazioni negli intonaci (Fig. 03.02.93)[143].



Fig. 03.02.93 - Test sismico su tavola vibrante. (*Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 37, rielaborazione dell'autore*).

Nonostante i pregiudizi sul legno visto come materiale inaffidabile durante gli incendi, l'azienda dimostra il contrario, il legno riesce a resistere meglio di altri materiali, mentre l'acciaio e il calcestruzzo non mostrano segni di danno ma perdono capacità strutturale, esso si danneggia in superficie e protegge le fibre sottostanti, garantendo la funzione statica, garantendo una resistenza al fuoco controllabile e ben sopra i requisiti da normativa[144].

2.4 Le case su catalogo

Sul piano della composizione architettonica, dalle alternative mostrate dal catalogo emergono due contrapposte realtà: il modello tradizionale e il modello contemporaneo, entrambi proposti in tutte le categorie di tagli disponibili. Sulla base del numero di soluzioni offerte per ciascuna classe dimensionale, si presuppone che le maggiori richieste si concentrino sui tagli S ed M, ovvero sulle metrature più contenute, rispetto alle varianti più dispendiose e grandi; tale ipotesi trova un riscontro diretto nei dati socioeconomici e demografici trattati precedentemente. Questa selezione va a intercettare preferenzialmente un pubblico di single, coppie o anziani, a vantaggio del fatto che le taglie S prediligono abitazioni monopiano, quindi in totale assenza di barriere architettoniche. La taglia M, con ben dodici alternative, gode del maggior numero di opzioni e rispecchia le necessità dei nuclei con un figlio, offrendo superfici comprese tra i 108 e i 140 metri quadri commerciali. Dalle taglie L in poi, al contrario, il numero di opzioni a catalogo cala sensibilmente. Ciò dimostra che il pubblico orientato verso le case predefinite ambisce a un massimo di 140 metri quadri, oppure che gli acquirenti intenzionati a realizzare abitazioni più importanti pretendono soluzioni interamente progettate su misura. In correlazione alla dimensione degli immobili emerge un ulteriore dato significativo, fino alle taglie S ed M vi è una netta prevalenza di soluzioni ad estetica tradizionale, caratterizzate da falde inclinate con pendenze accentuate e aggetti generosi

[143] Wolf Haus, *Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort*, Campo di Trens (BZ), Wolf System S.r.l., 2023, p. 37.

[144] Wolf Haus, *Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort*, Campo di Trens (BZ), Wolf System S.r.l., 2023, p. 46.

(Fig. 03.02.94). Al contrario, dalle taglie L in poi, le villette contemporanee sovrastano progressivamente la tradizione, imponendosi con geometrie forti e pulite, volumi sfalsati, coperture piane e ampie superfici vetrate (Fig. 03.02.95). Questo fenomeno evidenzia come le famiglie con disponibilità economiche medie preferiscano ancora l'estetica della tradizione, mentre la committenza dotata di maggiori capitali ambisca a soluzioni esclusive, visivamente d'impatto, capaci di differenziarsi dalla massa[145].



Fig. 03.02.94 - Soluzione residenziale stile tradizionale, taglia S di 82 metri quadri commerciali. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Wolf System S.r.l.*).



Fig. 03.02.95 - Soluzione residenziale stile contemporaneo, taglia L di 173 metri quadri commerciali. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Wolf System S.r.l.*).

[145] Wolf Haus, "La tua casa in legno: linee costruttive e cataloghi", *Wolf Haus Italia*, 2026, disponibile all'indirizzo: https://www.wolfhaus.it/la-tua-casa-in-legno (consultato il 24 giugno 2026).

2.5 Le tempistiche di consegna e i costi

Lo studio avanzato su ogni fase del processo costruttivo off-site e il ricorso a una digitalizzazione spinta per il controllo di ogni singolo dettaglio permettono di pianificare le tempistiche in modo rigido, articolando l'offerta in tre diversi stadi di finitura, scelti in base alle esigenze della committenza:

- Grezzo Avanzato Base (3-4 mesi): L'edificio si presenta ultimato e sigillato esternamente, ma è privo di impianti tecnologici, sottofondi, massetti e finiture interne (quali pavimentazioni, rivestimenti, rasature, tinteggiature e porte).

- Grezzo Avanzato Plus (4-5 mesi): Rispetto al livello precedente, la struttura include la completa installazione e il collaudo degli impianti tecnologici (elettrico e termoidraulico) e la realizzazione dei massetti di sottofondo. Rimangono escluse le finiture interne, le porte e i sanitari.

- Chiavi in Mano (5-6 mesi): L'edificio viene consegnato totalmente ultimato, completo di ogni finitura e dotazione impiantistica, pronto per ottenere la segnalazione certificata di agibilità[146].

Il livello di finitura finale richiesto configura il prezzo a fine lavori. Analizzando la condizione standard del "chiavi in mano" ed escludendo dal computo il costo delle opere di fondazione, dal catalogo Wolf Haus emergono due informazioni cruciali: il taglio dimensionale delle abitazioni e il relativo range di costo. Nonostante si tratti di modelli standardizzati, il costo complessivo dell'opera risulta difficilmente accessibile per la maggior parte delle famiglie italiane. Nello specifico, isolando le taglie S (da 82 a 128 metri quadri commerciali) e M (da 108 a 170 metri quadri commerciali) ed eseguendo una media parametrica, si denota come a una riduzione dei metri quadri corrisponda un aumento del costo unitario. Questo fenomeno è causato direttamente dall'incidenza dei costi fissi industriali come il trasporto dei bilici, il noleggio delle gru e la progettazione ingegneristica che devono essere ammortizzati su un'area calpestabile più contenuta. Al contrario, tagli dimensionali maggiori offrono prezzi al metro quadro più contenuti, che rimangono tuttavia elevati rispetto alla disponibilità media del mercato italiano[147].

Considerando i tagli medio-piccoli d'ingresso, il costo specifico si attesta intorno ai 2.300 euro al metro quadro. Se si prende come riferimento la stima della disponibilità economica media emersa dalle indagini precedenti, pari a circa 162.000 euro, la dimensione effettiva realizzabile con questo parametro si attesta a molto meno di 70 metri quadri commerciali. Questo perché nella cifra citata non sono ancora stati computati i costi imprescindibili per l'acquisto del terreno edificabile, la realizzazione delle fondazioni in cemento armato, le imposte e gli allacciamenti alle reti tecnologiche; di conseguenza, la superficie utile rimanente risulta del tutto insufficiente per le necessità abitative di un nucleo familiare.

2.6 I riconoscimenti

I costi importanti finora analizzati trovano tuttavia una giustificazione nel livello tecnologico, costruttivo e qualitativo che l'azienda garantisce sul mercato; l'azienda gode infatti di svariati riconoscimenti e premi a livello nazionale e internazionale, a testimonianza della costanza nella ricerca per questo settore. Dal punto di vista dell'efficienza energetica e della sostenibilità ambientale in Italia emergono il RealEstate Award del 2010, il premio Un Bosco per Kyoto del 2010, il CasaClima Award fra il 2010 e il 2024, il doppio riconoscimento

[146] Wolf Haus, *Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort*, Campo di Trens (BZ), Wolf System S.r.l., 2023, p. 23.

[147] Wolf Haus, "La tua casa in legno: linee costruttive e cataloghi", *Wolf Haus Italia*, 2026, disponibile all'indirizzo: https://www.wolfhaus.it/la-tua-casa-in-legno.

Klimahouse Trend del 2012 e del 2013, il premio per lo Sviluppo Sostenibile (2024) e il titolo di Migliore abitazione in legno (2017), oltre al premio Domotica e Energie Rinnovabili del 2014 per l'impiego di impianti autosufficienti.

Wolf Haus ha avuto successo anche fuori dai confini europei, adattandosi alle condizioni estreme del Medio Oriente e ottenendo il MENA Green Building Award (2017) e l'Emirates Energy Award (2017); infine, l'affidabilità industriale in Italia è stata certificata con l'Industria Felix Award del 2025 (Fig. 03.02.96)[148].



Migliore abitazione in legno

2017



Real estate Award

2010



MENA Green Building Award

2017



Un bosco per Kyoto

2010



Emirates energy Award

2017



Casaclima Award

2010 e 2024



Sviluppo sostenibile

2024



klimahouse trend

2012 e 2013



Industria Felix Award

2025



Domotica ed energie rinnovabili

2014

Fig. 03.02.96 - I riconoscimenti e premi. (*Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 228-229, rielaborazione dell'autore*).

[148] Wolf Haus, *Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort*, Campo di Trens (BZ), Wolf System S.r.l., 2023, p. 228-229.

03
Rubner Haus

3.1 Le origini dell'azienda RUBNER

Fig. 03.03.97 - Marchio ufficiale dell'azienda Rubner Haus, selezionata come caso studio. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus*).

In Alto Adige nel 1926, a Chienes, una segheria ad acqua viene realizzata da Josef Rubner senior (Fig. 03.03.97), che inizia la propria attività assieme ai figli producendo oggetti semplici per il commercio di legname (Fig. 03.03.98). Successivamente sviluppa le proprie capacità nell'uso del legno e si indirizza verso la produzione di porte e finestre nel 1964, per poi fare il suo ingresso nel mercato delle case in legno nel 1966 (Fig. 03.03.99). Nel 1974 costituisce l'azienda Holzbau a Bressanone ed inizia la produzione di legno lamellare. Questo sviluppo accompagna l'azienda da cento anni, di generazione in generazione, apportando sempre maggiore innovazione e qualità costruttiva, arrivando a grandi opere ingegneristiche con grandi campate e guadagnandosi il prestigio a livello internazionale.

A Chienes infatti, nel 1985, vengono realizzate le prime case efficienti e a basso consumo energetico; grazie al successo riscontrato, vennero eseguiti una serie di ampliamenti e miglioramenti tecnologici alla falegnameria nel 1996. Con la scomparsa dei tre fratelli nei primi anni 2000, subentra la terza generazione che ha dato sostegno agli straordinari successi dei predecessori, espandendo l'azienda in Austria, Germania, Italia e Francia nel corso dei decenni successivi.



Fig. 03.03.98 - Fotografia d'epoca della famiglia di Josef Rubner a Chienes. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus*).



Fig. 03.03.99 - Veduta aerea dello storico stabilimento di lavorazione del legname e segheria della famiglia Rubner a Chienes. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus*).

Oggi l'azienda può contare su circa 1500 dipendenti in 18 sedi (Fig. 03.03.100). Nonostante molte opere siano difficili, l'organizzazione e l'affidabilità dell'azienda permettono di semplificare i progetti complessi, controllando i materiali impiegati a partire dall'albero nel bosco, per poi seguirne il processo di trasformazione fino alla prefabbricazione, pronti per la posa. L'azienda quindi da sempre ha puntato sul legno, prevedendo a monte i futuri problemi ambientali nell'utilizzo di altre alternative. La filiera del legno è relativamente breve: inizia dal bosco, nel quale le piante vengono controllate prevedendo il mantenimento delle riserve naturali; i legnami da essi ricavati vengono poi trasportati in falegnameria, dove si producono x-lam, legno strutturale ed elementi prefabbricati per le pareti, i soffitti e le coperture. La seconda fase consiste nell'inviare i materiali dislocando le porzioni nei vari stabilimenti, per produrre dalle case monofamiliari fino ai complessi industriali[149].



Fig. 03.03.100 - Stabilimento attuale di Chienes. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus*).

[149] Rubner, "100 anni di Rubner", *Rubner - Grandi strutture in legno*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/costruzioni-legno/100-anni-rubner/.

Nel corso dei decenni, il gruppo ha perfezionato non solo i processi ma anche il rapporto con il cliente, affidandoli ad un tecnico competente che oltre al progetto aiuta l'acquirente a procurarsi il terreno edificabile e si accerta che possa sostenere economicamente l'opera, e se necessario guidandoli anche nel finanziamento. Il processo si schematizza in sei fasi operative:

- L'offerta. Vengono valutate le esigenze ed il budget e partendo da esse si realizza la soluzione più consona e coerente possibile.

- Pianificazione e statica. Una volta confermata la soluzione, il team si spende per trasformarla in un prodotto producibile in stabilimento, calcolando ogni dettaglio.

- La scelta materiali. Nel frattempo che il team elabora la produzione, l'acquirente viene accompagnato nella scelta delle finiture, per dare carattere e personalità.

- Produzione. Terminata la fase progettuale, gli stabilimenti creano i componenti per rendere i progetti realtà.

- Montaggio. L'abitazione arriva in frammenti in cantiere dove verranno montati.

- Consegna chiavi in mano. Il team si accerta assieme al cliente e al collaudatore che tutto sia a regola d'arte, come era stato richiesto[150].

3.2 I sistemi costruttivi e soluzioni tecnologiche

L'azienda recupera i materiali in foreste certificate PEFC in Alto Adige e Austria, principalmente l'abete rosso e il larice, proponendo con essi diverse soluzioni costruttive, Blockhaus, Casablanca e Sistema a telaio:

- Blockhaus prende riferimento dai sistemi più antichi al mondo, le sua durata e stabilità è confermata da studi di settore, la particolarità è che l'abitazione è composta da travi di abete rosso incastrati fra loro uno sull'altro grazie ad un incastro a pettine sugli angoli, gli elementi quindi sono tutti vincolati fra loro da incastri, senza l'uso di colle, adesivi o piastre metalliche, esattamente come si realizzavano le case in passato, per cui è una delle soluzioni più collaudate della storia. Grazie alla tecnologia odierna le connessioni sono precise al millimetro, frutto dell'implementazione di macchinari all'avanguardia che intagliano il legno massiccio. La stratigrafia della parete viene così composta dai listoni piallati da 18 mm con il nodo a pettine, all'interno si inserisce un tessuto traspirante, un isolamento con fibra di legno da 100 a 220 mm alternati da listelli da 100 a 220 mm, una membrana antivapore, un secondo strato di listelli da 40 mm che funge da intercapedine impianti e infine un pannello monostrato di abete rosso da 18 mm. In totale la parete può raggiungere da un minimo di 25 cm a 40 cm, grazie all'ottimo grado di isolamento si arriva a d una trasmittanza di 0.27 a 0.15 W/metro quadro K, con uno sfasamento termico di ben 15 h in media, resistenza al fuoco REI 45 ed isolamento acustico medio di 50 dB. (Fig. 03.03.101)[151].

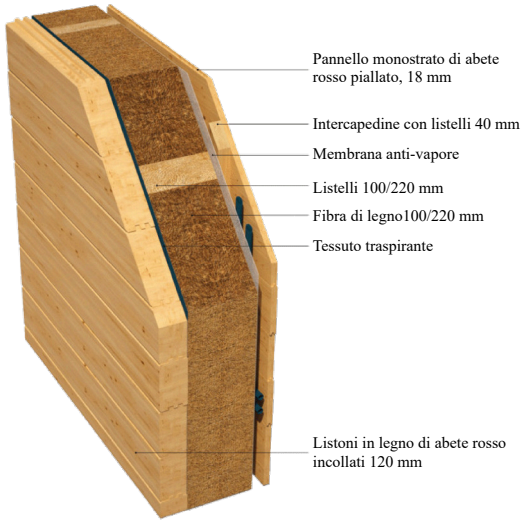


Fig. 03.03.101 - Struttura delle pareti con sistema ad incastri Blockhaus. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus, elaborazione dell'autore*).

[150] Rubner Haus, "Come si realizza una casa Rubner", *Il sogno Rubner*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/come-si-realizza-una-casa-rubner/.

[151] Rubner Haus, "Blockhaus", Sistemi costruttivi, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/sistemi-costruttivi/blockhaus/.

- Casablanca rappresenta la versione opposta del sistema Blockhaus, infatti dopo l'incastro dei listoni in abete a pettine, dal lato esterno viene inserito l'isolante termico con lastre di fibra di legno da 60 a 140 mm sempre alternato alla listellatura, essendo non dense e flessibili si adatta facilmente, in seguito si inserisce una lastra di supporto in fibra di legno ad alta densità da 60 mm con lo scopo di aumentare la capacità termica massiva e creare sfasamento. Infine, come finiture si inserisce l'intonaco minerale con tinteggiatura. Lo spessore della parete raggiunge i 31 cm, garantendo una trasmittanza termica media di 0,19 W/metro quadro K, uno sfasamento medio di 13 ore e un isolamento acustico di 51 dB. (Fig. 03.03.102)[152].

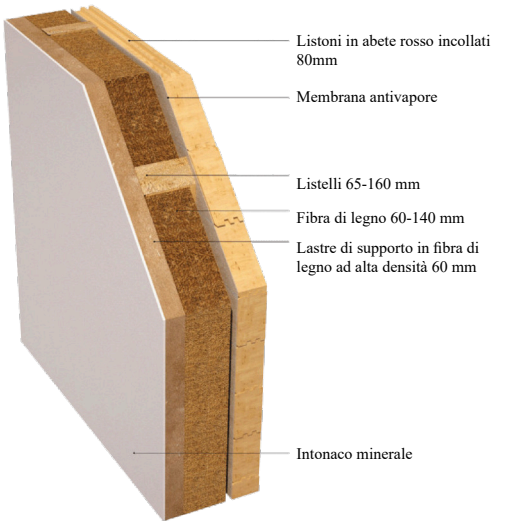


Fig. 03.03.102 - Struttura delle pareti con sistema Casablanca. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus, elaborazione dell'autore*).

- Nella struttura a telaio invece lo scheletro portante è composto da legno lamellare di abete rosso, offrendo il grande vantaggio compositivo di flessibilità architettonica totale. Le pareti in questa soluzione vengono isolate con fibra di legno a bassa densità alternate da listellatura a telaio, il nucleo viene rivestito internamente da una membrana anti-vapore, da una lastra in fibrogesso rinforzata da una in cartongesso, mentre esternamente il nucleo isolante viene protetto da una lastra in fibrogesso da 15 mm, una lastra in sughero da 80 mm, un incasso con armatura in tessuto ed infine un intonaco tinteggiato, che garantisce la continuità dell'isolamento esterno eliminando i ponti termici della struttura lignea. La parete raggiunge uno spessore di media 35 cm, garantendo una trasmittanza media di 0,15 W/metro quadro K, uno sfasamento medio di 15 ore, una resistenza al fuoco REI 60 ed un isolamento acustico di 51 dB. (Fig. 03.03.103)[153].

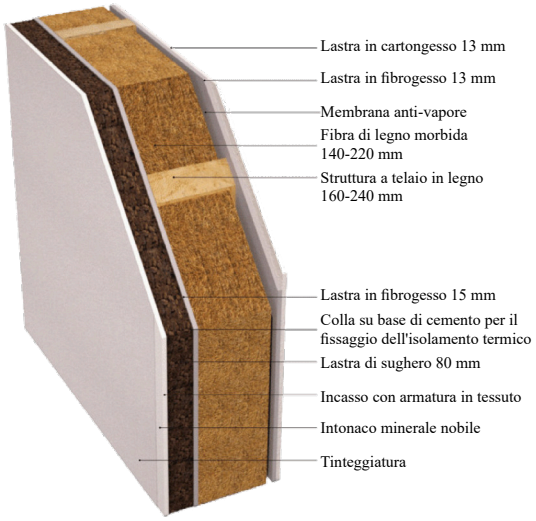


Fig. 03.03.103 - Struttura delle pareti con sistema a telaio. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus, elaborazione dell'autore*).

[152] Rubner Haus, "Casablanca, la tua casa di legno intonacata", *Sistemi costruttivi*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/sistemi-costruttivi/casablanca/.

[153] Rubner Haus, "Sistema a telaio", *Sistemi costruttivi*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/sistemi-costruttivi/sistema-a-telaio/.

3.3 La qualità delle materie prime

L'azienda punta moltissimo sulla trasparenza e sulla solidità strutturale nei confronti del pubblico, svolgendo periodicamente controlli di qualità sui processi produttivi e sui materiali che impiega, vantando certificazioni ufficiali e garanzie pluridecennali sui prodotti realizzati. Rubner Haus certifica la materia prima tramite il protocollo PEFC, assicurandosi che le foreste di provenienza siano gestite in modo sostenibile.

Il settore serramenti garantisce ottime prestazioni di isolamento acustico superiori alla media, testate presso l'istituto tedesco IFT Rosenheim; inoltre, sul piano antieffrazione, i clienti sono rassicurati dai dati rilasciati dal centro di collaudo PFB Rosenheim. In caso d'incendio, la tecnologia dell'involucro e i trattamenti protettivi della materia prima permettono all'edificio di comportarsi in modo ottimale, come confermato dai rapporti di prova sia presso l'Istituto CSI di Milano che tramite l'ente MFPA di Lipsia, propedeutici al rilascio della Valutazione Tecnica Europea (ETA). Grazie alla leggerezza intrinseca del sistema costruttivo rispetto all'edilizia massiccia tradizionale, l'involucro garantisce ottimi riscontri a livello sismico, confermati da test e prove in laboratorio coordinate dall'Università degli Studi di Trento, dall'Università di Graz e dall'Università del Minho[154].

3.4 Abaco e catalogo estetica residenziale

La qualità tecnica e funzionale risalta in tutte le soluzioni offerte da Rubner; infatti, vengono proposti quattro modelli architettonici principali: le case tradizionali in stile classico, le case naturali, le case di design e le case moderne. Rispetto alla concorrente Wolf Haus, Rubner non offre un vero e proprio catalogo ricco di informazioni su superfici, disposizione degli spazi e costi, ma un elenco delle proprie opere realizzate. L'approccio alla prefabbricazione differenzia maggiormente i due marchi: uno più vicino a soluzioni standardizzate a catalogo, l'altro orientando il proprio mercato principalmente verso la progettazione su misura, dove le proposte hanno l'unico scopo di dare ispirazione al cliente su linee e composizioni architettoniche.

Fra le abitazioni mostrate emerge che il gruppo predilige principalmente offrire uno stile contemporaneo e minimalista, ma al contempo non rinuncia alla classica copertura a falda, rivista in chiave moderna o tradizionale. La maggior parte delle opere mostrate è in chiave contemporanea, dove le falde non sporgono rispetto alle pareti al fine di mantenere le volumetrie pure e non spezzate, occultando i canali di gronda nella stratigrafia dell'involucro (Fig. 03.03.104). Anche negli interni le due aziende si differenziano molto: Rubner, a differenza di Wolf Haus, preferisce mettere in mostra l'autenticità dei materiali impiegati, offrendo una percezione avvolgente attraverso l'uso del legno a vista su soffitti e pareti divisorie (Fig. 03.03.105). Al contrario, Wolf tende spesso a nascondere la struttura lignea dietro lastre di gesso cartonato tinteggiato, intercettando maggiormente le preferenze dell'utenza legata all'estetica dell'edilizia di stampo tradizionale (Fig. 03.03.106)[155].

I progetti del gruppo si concentrano principalmente in contesti italiani; ciò dimostra che, nonostante la diffidenza storica verso questo settore, le strutture prefabbricate stanno registrando un crescente riscontro positivo da parte del pubblico. L'utente locale, tuttavia, predilige esternamente la soluzione con finitura a intonaco rispetto al legno a vista, il quale viene confinato agli spazi interni per valorizzare le sensazioni tattiche che la materia offre. Sotto il

[154] Rubner Haus, "Rubner Haus Certificates", *Journey to your Rubner Haus*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/en/haus/your-rubner-haus-dream/certificates/.

[155] Rubner Haus, "Diamo forma ai tuoi sogni: ecco le case in legno moderne", Storie di case, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/haus/referenze/.

profilo del posizionamento economico, Wolf Haus si dimostra orientata a garantire la massima certezza del costo puntando su logiche di produzione di scala e su layout standardizzati, intercettando anche segmenti di mercato con budget contenuti. Rubner Haus, al contrario, indirizza la propria strategia produttiva verso un target d'acquisto più esigente, che ricerca nell'edificio unicità architettonica e soluzioni sartoriali a ogni costo[156].

[156] Rubner Haus, "Rubner Haus: La tua soluzione per una casa in legno prefabbricata", *Rubner Haus*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/haus/.



Fig. 03.03.104 - Un esempio di struttura Rubner in stile contemporaneo, "Villa ai Filari" a Limana nel Veneto. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus*).



Fig. 03.03.105 - Un esempio di finiture interne con legno a vista dell'azienda Rubner, "Villa ai Filari" a Limana nel Veneto. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus*).



Fig. 03.03.106 - Un esempio di struttura Rubner in stile contemporaneo ma con richiami tradizionali mediante falde sporgenti, "Chalet Monterosa" a Gressoney Saint-Jean. (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus*).

3.5 Tempi di consegna e costi

Dal punto di vista dei tempi e dei costi, Rubner rimane molto più vaga: non esprime mai il costo delle proprie abitazioni sul sito ufficiale e neanche i tempi delle varie fasi. Anche se l'attestazione S.A.L.E. impone degli standard severi, il cliente, a primo impatto, deve basarsi sull'affidabilità delle certificazioni di cui l'azienda gode e su indicazioni molto generiche riguardanti i tempi di realizzazione. Rispetto a Wolf Haus, quindi, l'azienda è maggiormente da scoprire di persona tramite i propri tecnici, probabilmente per la predisposizione a un mercato più orientato a committenti abbienti che non necessitano di conoscere a priori i costi precisi.

Sul sito ufficiale vengono comunque approfondite le tre opzioni che l'azienda offre dal punto di vista del grado di completezza del prodotto e dell'allestimento strutturale:

- Chiavi in mano (Allestimento Experience): In questa alternativa il cliente non deve fare altro che utilizzare l'immobile senza preoccuparsi di nulla. Ogni singolo dettaglio d'arredo, impiantistico e materico è già stato interamente realizzato dall'azienda sulla base delle scelte effettuate precedentemente dal committente all'interno della Rubner Haus[157].

- Livello di allestimento Basic (Grezzo avanzato): Rappresenta una delle tre soluzioni strutturali proposte da Rubner. La parte esterna dell'involucro è completamente ultimata, così come la distribuzione spaziale interna, ma le finiture interne e i lotti impiantistici terminali vengono lasciati nelle mani dell'acquirente. L'abitazione viene quindi consegnata completa di pareti portanti, solai, copertura ventilata, camino, infissi, scale e tubazioni vuote per i passaggi elettrici e idraulici[158].

[157] Rubner Haus, "Experience - la tua casa in legno chiavi in mano", *I livelli di allestimento*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/livelli-di-allestimento/experience/.

[158] Rubner Haus, "Il livello d'allestimento: Basic", *I livelli di allestimento*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/livelli-di-allestimento/basic.

- Studio (Soluzione completa su misura): Configura l'approccio abitazione realizzata su misura, il cliente infatti può affidarsi alla creatività del proprio architetto di fiducia, il quale collaborerà direttamente con il team di tecnici di Rubner Haus per ingegnerizzare qualsiasi impianto desiderato, come dimostrato nella realizzazione delle Ville d'autore di Rubner[159].

3.6 I riconoscimenti

L'acquirente che sceglie Rubner, nonostante non abbia riferimenti certi inizialmente per via di dati generici sul proprio sito, si affida al gruppo grazie al supporti degli importanti riconoscimenti, come il prestigioso premio italiano per l'edilizia sostenibile CasaClima Award 2025 vinto con il progetto "la villa ai filari", esso valuta il rispetto dei criteri del protocollo CasaClima Nature come la trasmittanza delle pareti, gli impatti LCA e il comfort offerto (Fig. 03.03.107)[160].



Fig. 03.03.107 - Il gruppo Rubner con il prestigioso premio italiano per l'edilizia sostenibile CasaClima Award 2025 vinto con il progetto "la villa ai filari". (Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus, elaborazione dell'autore).

Un altro riconoscimento è il premio per l'innovazione tecnologica dell'Alto Adige, rivolto infatti agli sviluppi sulla ricerca e ai livelli tecnologici all'avanguardia mediante i tagli CNC e l'impiego con successo del BIM; l'azienda è stata premiata da ingegneri e docenti universitari di Bolzano per il taglio di precisione del legno a umido[161].

Un ulteriore traguardo è testimoniato dalla pubblicazione sul portale ArchDaily del complesso scolastico Jean-Louis Etienne realizzato in Francia (Fig. 03.03.108), ottenendo la nomination per il premio di architettura "ArchDaily Building of the Year Award 2024", dimostrando che la prefabbricazione in legno oggi è ben lontana dall'abitazione residenziale povera e ricca di problematiche del passato, infatti negli ultimi decenni questa tecnologia sta avendo sempre più la sua rivincita, aggiudicandosi un posto tra le migliori alternative presenti sul mercato odierno, anche spaziando al di fuori del contesto residenziale (Fig. 03.03.109)[162].

[159] Rubner Haus, "Villa prefabbricata con piscina", *Studio - soluzione completa su misura*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/villa-prefabbricata-con-piscina/.
[160] Rubner Haus, "Una casa Rubner vince ai CasaClima Awards 2025", *News*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/news/haus/rubner-haus-vince-ai-casaclima-awards-2025/.
[161] Gruppo Rubner, "Le aziende del gruppo Rubner", *Aziende del gruppo Rubner*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/gruppe/gruppo-rubner/aziende-gruppo-rubner/.
[162] Rubner - Grandi strutture in legno, "Complesso scolastico Jean-Louis Etienne", *Referenze*, 2025, disponibile all'indirizzo: https://www.rubner.com/it/riferimenti/costruzioni-legno/jean-louis-etienne/.



Fig. 03.03.108 - Complesso scolastico Jean-Louis Etienne, in Francia, che ha permesso al gruppo di aggiudicarsi il premio di architettura “ArchDaily Building of the Year Award 2024". I progettisti hanno scelto di mantenere il legno a vista come caratterizzazione dell'edificio. (Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus).



Fig. 03.03.109 - Complesso scolastico Jean-Louis Etienne, in Francia, che ha permesso al gruppo di aggiudicarsi il premio di architettura “ArchDaily Building of the Year Award 2024". (*Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus*).

04
La risposta di Wolf e Rubner come fondamenta per l'elaborazione di una nuova alternativa

4.1 Conclusioni

L'insegnamento condotto dallo studio storico nei primi capitoli ha portato alla luce in più riprese il dovere di comprendere le esigenze del pubblico, come le crisi socioeconomiche e ambientali, e partendo da esse adottare la giusta strategia. Lo stesso percorso è stato fatto dalle due famosissime aziende Wolf e Rubner, accomunate dal medesimo impegno sul campo dell'edilizia prefabbricata, ma distinte nelle scelte. La prima, infatti, predilige maggiormente la mass customization e l'abbattimento dei costi sfruttando l'efficienza dei processi e promuovendo infatti abitazioni su catalogo, rivolgendo maggiormente l'attenzione anche a ceti meno abbienti; la seconda, invece, si orienta unicamente su edifici su misura per il cliente, rinunciando all'economia di massa. Questi due riferimenti sono stati scelti non solo per la loro fama e per i numerosi riconoscimenti e premi ottenuti, ma anche perché insieme hanno dimostrato come il settore possa essere flessibile e versatile di fronte a ogni richiesta, dall'edilizia residenziale a quella scolastica e commerciale.

In parallelo alle scelte strategiche nei confronti del mercato, la scelta dei due marchi è dovuta alla possibilità di analisi delle soluzioni tecnologiche da loro adottate: dalle stratigrafie di pareti ai solai fino alle coperture, ricche di specifiche su questioni fisiche e tecniche. Questi dati sono di vitale importanza per la formulazione di un nuovo sistema costruttivo alternativo, che sia capace di coniugare la flessibilità architettonica ma anche l'accessibilità economica dello stesso, puntando su un sistema modulare aperto; ed è su base di queste premesse che si fonderà il successivo capitolo, finalizzato alla definizione di una personale alternativa.

Il Sistema Costruttivo

DADO prende forma: dalla lettura delle criticità alla definizione del sistema costruttivo

L'obiettivo del presente capitolo è sviluppare una proposta di sistema costruttivo modulare in legno, che tenga conto delle problematiche riscontrate nei sistemi prefabbricati del passato e delle potenzialità offerte dalle attuali tecnologie costruttive e dai materiali contemporanei.

La formulazione del sistema si fonda sui seguenti principi:

- Rendere il sistema facilmente replicabile su larga scala in stabilimento, beneficiando delle economie di scala derivanti dalla produzione industriale.

- Sviluppare un abaco di "elementi" standardizzati finalizzato a favorire il riuso e il reimpiego degli elementi in nuove configurazioni, in un'ottica di DfD, garantendo al contempo semplicità di montaggio e smontaggio.

- Garantire flessibilità e varietà architettonica mediante la definizione di elementi assemblabili fra loro in varia forma, così che il sistema sia adattabile alle esigenze progettuali.

01
Il sistema costruttivo

1.1 L'ispirazione

Il sistema costruttivo del modulo "DADO" trae ispirazione dal progetto londinese realizzato dal team RuralZED nel 2008. Tale sistema prevedeva la realizzazione di un'abitazione prefabbricata "low energy" chiavi in mano disposta su due livelli, per una superficie complessiva di circa 95 metri quadrati (Fig. 04.01.110) (Fig. 04.01.111). L'organismo edilizio raggiungeva un'elevata efficienza energetica sfruttando in modo ottimale l'orientamento solare e un consistente pacchetto di isolamento termico in lana di roccia. La reale innovazione del modello risiedeva nella scomposizione della struttura in componenti pre-ingegnerizzati e assemblabili a secco tramite incastri geometrici; questo approccio configurava un sistema costruttivo flessibile, facile e veloce da trasportare e posare, su una platea di fondazione in cemento armato, sulla quale vengono ancorati a



Fig. 04.01.110 - Il prototipo di edilizia prefabbricata a zero emissioni di RuralZED progettato dall'Arch. Bill Dunster. (Fonte: Di Micco 2010, p. 92).



Fig. 04.01.111 - Il prototipo di edilizia prefabbricata a zero emissioni di RuralZED progettato dall'Arch. Bill Dunster. (Fonte: Di Micco , p. 92).

secco i componenti in legno lamellare. Il telaio portante è caratterizzato da pilastri da 20 × 20 centimetri, posti a un interasse costante di due metri, che sostengono le travature principali con sezione da 30 × 20 centimetri; su di queste poggia a sua volta un'orditura secondaria da 15 × 7,5 centimetri con passo di 60 centimetri. Gli elementi vengono montati con estrema facilità mediante gli intagli predisposti; gli incastri geometrici, infatti, guidano l'operatore nel posizionamento di precisione delle parti, stabilizzando la struttura. La leggerezza del legno, combinata alle dimensioni contenute dei singoli componenti, rende la posa in cantiere estremamente agevole (Fig. 04.01.112). Sul piano delle stratigrafie impiegate, il team ha previsto per la chiusura orizzontale inferiore e per la partizione interna orizzontale la posa di tavelle in cotto da 60 × 30 centimetri a intradosso curvo sulle travi secondarie, destinate al sostegno degli isolanti acustici e del pavimento in pietra. L'involucro verticale è il vero protagonista dell'isolamento, comprendendo un pacchetto in lana di roccia di ben 30 centimetri di spessore protetto sul lato interno da una barriera al vapore; a questo si aggiunge una controparete interna in calcestruzzo spessa 5 centimetri, inserita appositamente per aumentare la massa termica. Il rivestimento esterno prevede invece una configurazione flessibile e adattabile alle preferenze del committente, il quale può optare per diverse soluzioni quali l'intonaco, le tavelle o le doghe in legno. Gli infissi con triplo vetro completano l'isolamento totale del manufatto, così come la copertura, costituita da una struttura in legno iper-coibentata e protetta da un manto di copertura in tegole (Fig. 04.01.113). Il bilancio termico estivo e invernale è compensato dagli apporti gratuiti solari, sia attivi sia passivi. Questo avviene grazie all'integrazione di una serra verticale a doppia altezza caratterizzata da grandi vetrate esposte a sud, la quale trattiene il calore generato dai raggi solari per riscaldare gli ambienti interni. Al contrario, per proteggere l'abitazione dal surriscaldamento estivo, sono stati previsti sistemi di schermatura solare, un tetto verde esposto a nord e l'apporto dei materiali massivi interni.



Fig. 04.01.112 - Il sistema costruttivo concepito da RuralZED realizzato. (Fonte: Di Micco 2010, p. 96).

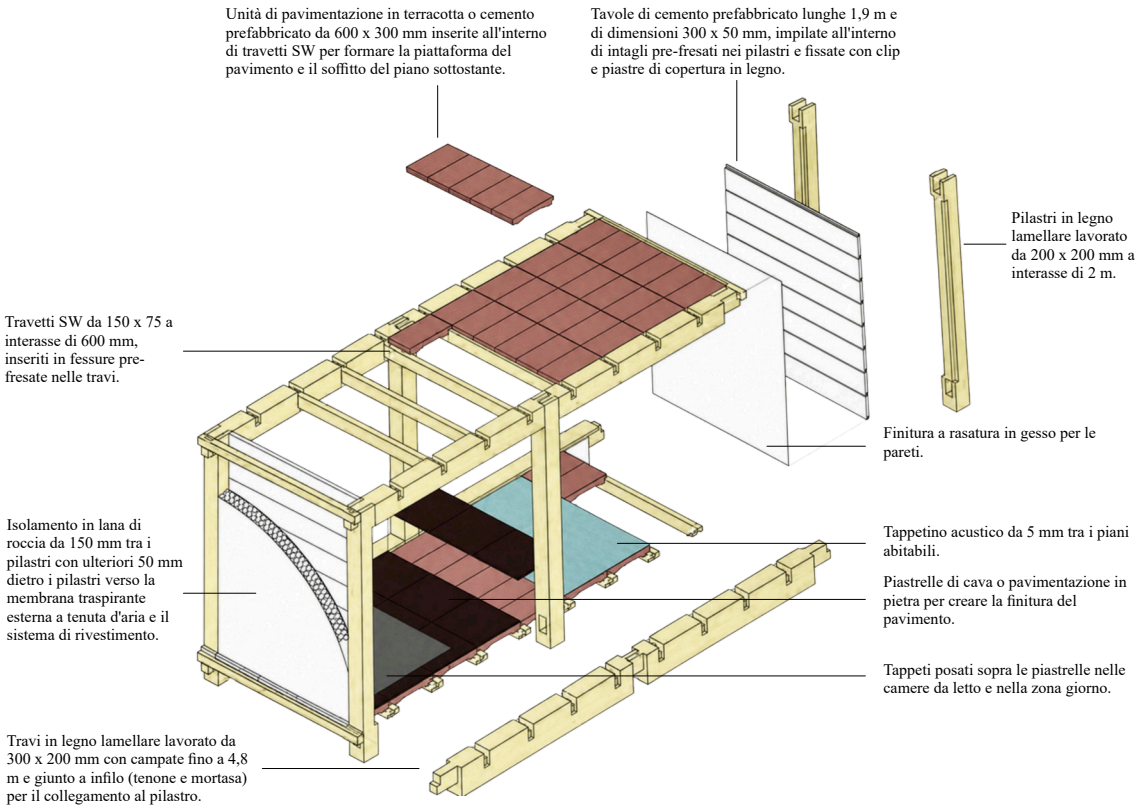


Fig. 04.01.113 - Schema del sistema costruttivo concepito da RuralZED, basato sulla geometria e gli incastri dei componenti. (Fonte: Di Micco 2010, p. 97, rielaborazione dell'autore).

Nel caso in cui i sistemi passivi non dovessero essere sufficienti, l'abitazione dispone di diversi impianti attivi: per il riscaldamento interviene una caldaia alimentata a pellet, mentre per sostenere i consumi elettrici, i progettisti hanno previsto ventuno moduli fotovoltaici, affiancati da collettori solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria. Infine, la necessità di mantenere gli infissi chiusi per lunghi periodi ha spinto la squadra a integrare un sistema di ventilazione meccanica controllata (VMC), che permette lo scambio termico tra l'aria pulita immessa e l'aria viziata in uscita, mentre un circuito di recupero delle acque meteoriche garantisce il soddisfacimento del fabbisogno idrico domestico (Fig. 04.01.114)[163].

[163] Di Micco S. (2010), *op. cit.*, pp. 92-98.

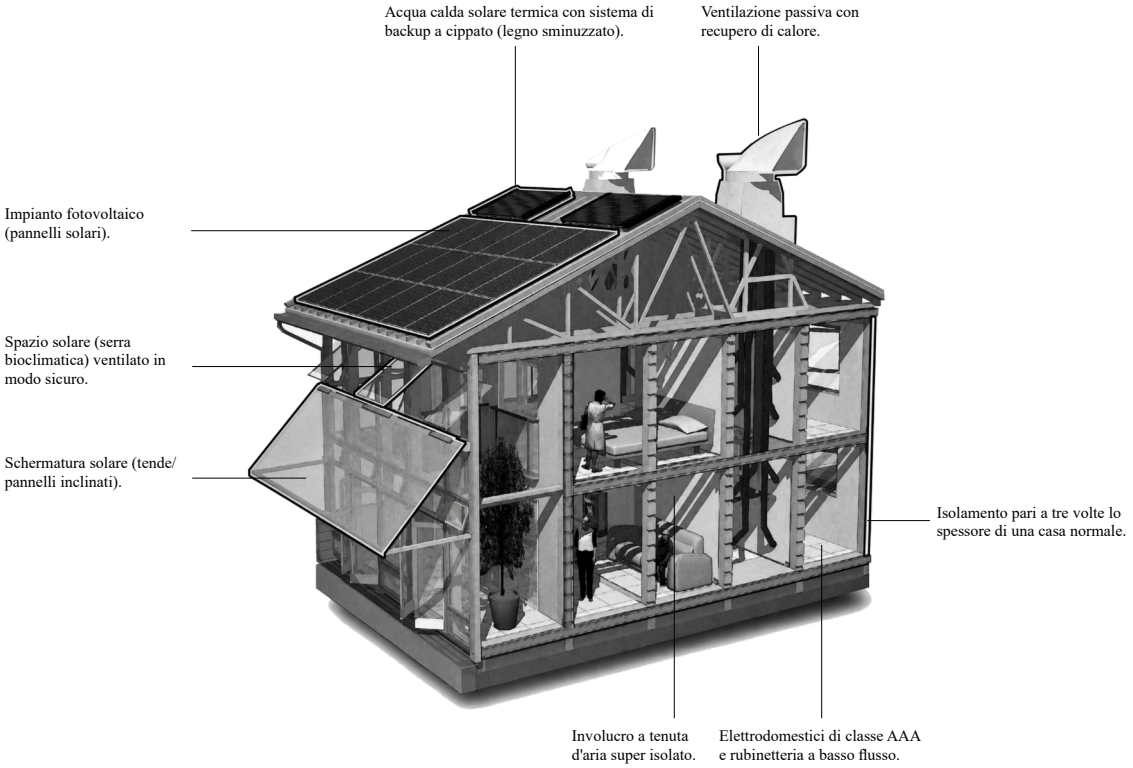


Fig. 04.01.114 - Sezione del prototipo di edilizia prefabbricata a zero emissioni di RuralZED progettato dall'Arch. Bill Dunster, in risalto i dettagli costruttivi. (Fonte: Di Micco 2010, p. 98, rielaborazione dell'autore).

1.2 Le peculiarità di DADO

Partendo dalle soluzioni innovative sviluppate dal team RuralZED e sulla base dell'eredità offerta sia dai pionieri del passato sia dalle aziende del presente, la presente ricerca propone un nuovo sistema costruttivo alternativo fondato sulla modularità e sulla standardizzazione nel campo dell'edilizia prefabbricata a secco, denominato "DADO". La sfida risiede nel riuscire a conciliare le attuali esigenze delle famiglie, discusse nel capitolo tre, con le problematiche ambientali, puntando sulla reversibilità costruttiva dei componenti senza incorrere in soluzioni costose o complesse da realizzare. La scelta di un sistema a telaio modulare in legno non è casuale; essa è infatti sostenuta dalla volontà di sfruttare appieno le potenzialità della mass customization per due motivi principali: limitare i costi sulla quantità produttiva ed evitare un numero eccessivo di elementi differenti tra loro. La presenza di troppi elementi diversi, infatti, renderebbe impossibile il riutilizzo a fine vita degli stessi, oltre a penalizzare le fasi di cantiere rendendo le operazioni di montaggio e smontaggio sempre differenti, lente e difficoltose. Al fine di non creare vincoli compositivi, il sistema è composto da un insieme di elementi standard facenti parte di un abaco costruttivo ben definito. Il sistema funziona in modo analogo ai celebri mattoncini "LEGO": i moduli condividono la stessa anima tecnica e il medesimo sistema di montaggio a incastro geometrico. Questo approccio permette, a differenza dei componenti realizzati su misura, di smontare gli elementi a fine vita del fabbricato per reimpiegarli nella costruzione di altri complessi edilizi. Inoltre, guida l'operatore in una posa perfetta grazie ai riferimenti offerti dagli intagli stessi; tale approccio sfrutta la precisione millimetrica dei moderni sistemi di taglio a controllo numerico (CNC) per garantire un margine di errore estremamente ridotto.

Tuttavia, il modulo più grande realizzabile è circoscritto alle dimensioni di 5 per 2,5 metri, una scelta calibrata per permettere il trasporto

su gomma senza l'impiego di trasporti eccezionali. Di conseguenza, questa specifica configurazione punta a massimizzare la superficie coperta nonostante i vincoli di trasporto, nonché i costi di posa e trasferimento. Infatti, con un solo movimento di messa in opera da parte della gru, si riesce a posizionare un'area pari a 12,5 metri quadrati di superficie lorda coperta, una quota superiore alla dimensione minima richiesta per una camera singola secondo la normativa italiana.

La denominazione "DADO" richiama proprio il concetto della montabilità e della smontabilità a secco di un fissaggio; in ambito meccanico, infatti, il dado garantisce esattamente questa libertà. Lo stesso concetto viene declinato su ogni singolo componente del sistema il quale, per sola virtù geometrica, consente un serraggio reversibile, analogo a quello dei giunti meccanici e basato sugli stessi principi di versatilità. La scelta è supportata dal termine "dado joint", vocabolo internazionale che identifica una specifica tipologia di incastro basata sulla realizzazione di una scanalatura a tre facce nel legno, all'interno della quale aderisce per forma il secondo elemento da fissare (Fig. 04.01.115). L'impiego del termine "dado joint" si giustifica quando si scompone l'intero sistema costruttivo nel singolo componente elementare; quando invece si passa allo studio dei nodi strutturali, generati dall'incastro di più elementi, il sistema evolve nel "Cross Lap". Questo rappresenta, appunto, l'unione speculare di due scassi "Dado" che si fondono assieme (Fig. 04.01.116).

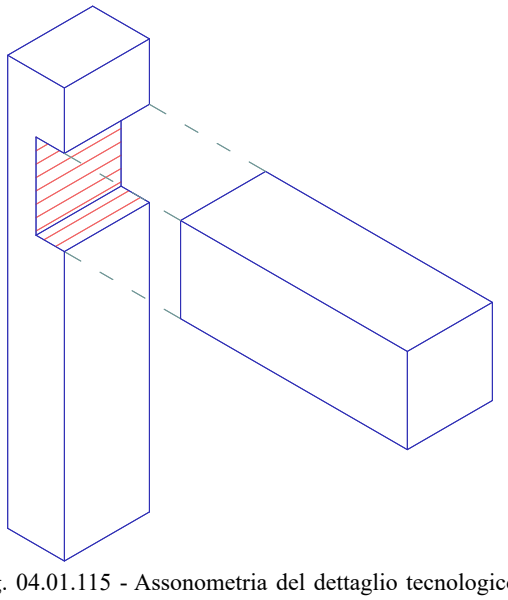


Fig. 04.01.115 - Assonometria del dettaglio tecnologico Dado joint. (Fonte: Ching 2014, p. 366, rielaborazione dell'autore).

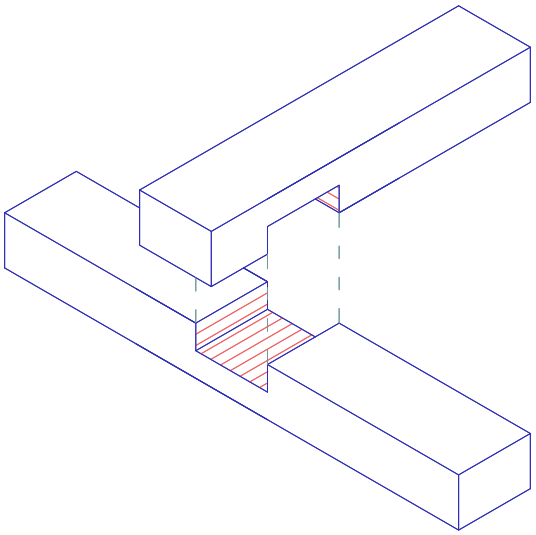


Fig. 04.01.116 - Assonometria del dettaglio tecnologico del Cross lap. (Fonte: Ching 2014, p. 367, rielaborazione dell'autore).

Gli elementi rimangono così saldamente incastrati fra loro per geometria e il fissaggio viene ultimato con giunzioni metalliche; tale principio, infatti, è stato impiegato sia per le giunzioni tra le travi principali e l'orditura secondaria, sia per le travature della copertura. Il termine, in questo modo, coniuga la reversibilità della giunzione meccanica con la pulizia degli incastri geometrici[164].

Infine, la scelta del nome deriva dall'associazione alla sfera ludica, rafforzando il concetto della dinamica combinatoria dei pezzi che si possono assemblare come un "LEGO" grazie ai soli incastri, proprio come se si trattasse di un enorme gioco di costruzioni. Al contempo, il vocabolo richiama la forma geometrica a parallelepipedo che contraddistingue i moduli tridimensionali una volta completati.

[164] Ching F. D. K. (2014), *Building Construction Illustrated.* Hoboken: John Wiley & Sons, pp. 366-367.

02
La struttura modulare

Il flusso operativo e produttivo prende avvio dalla progettazione in BIM dei vari componenti. Trattandosi di elementi standardizzati, non vi è la necessità di modellare ex novo tutti gli elementi per ogni singolo progetto; il vero vantaggio di un sistema modulare dettato da misure predefinite risiede proprio in questo. La modellazione si sofferma quindi sugli aspetti compositivi dell'abitazione e, contemporaneamente, in stabilimento può già avere luogo la realizzazione dei vari componenti. In seguito, verrà analizzato lo sviluppo del modulo da 5 × 2,5 metri, composto da quattro pilastri angolari, due travi di bordo da 5 metri, due travi di bordo da 2,5 metri, otto travi secondarie da 2,5 metri e quattro piastre metalliche di appoggio. Nel seguente paragrafo verranno approfondite le relative particolarità tecniche e dimensionali, insieme alle motivazioni che hanno condotto a determinare tali scelte per ogni singolo elemento (Fig. 04.02.117).

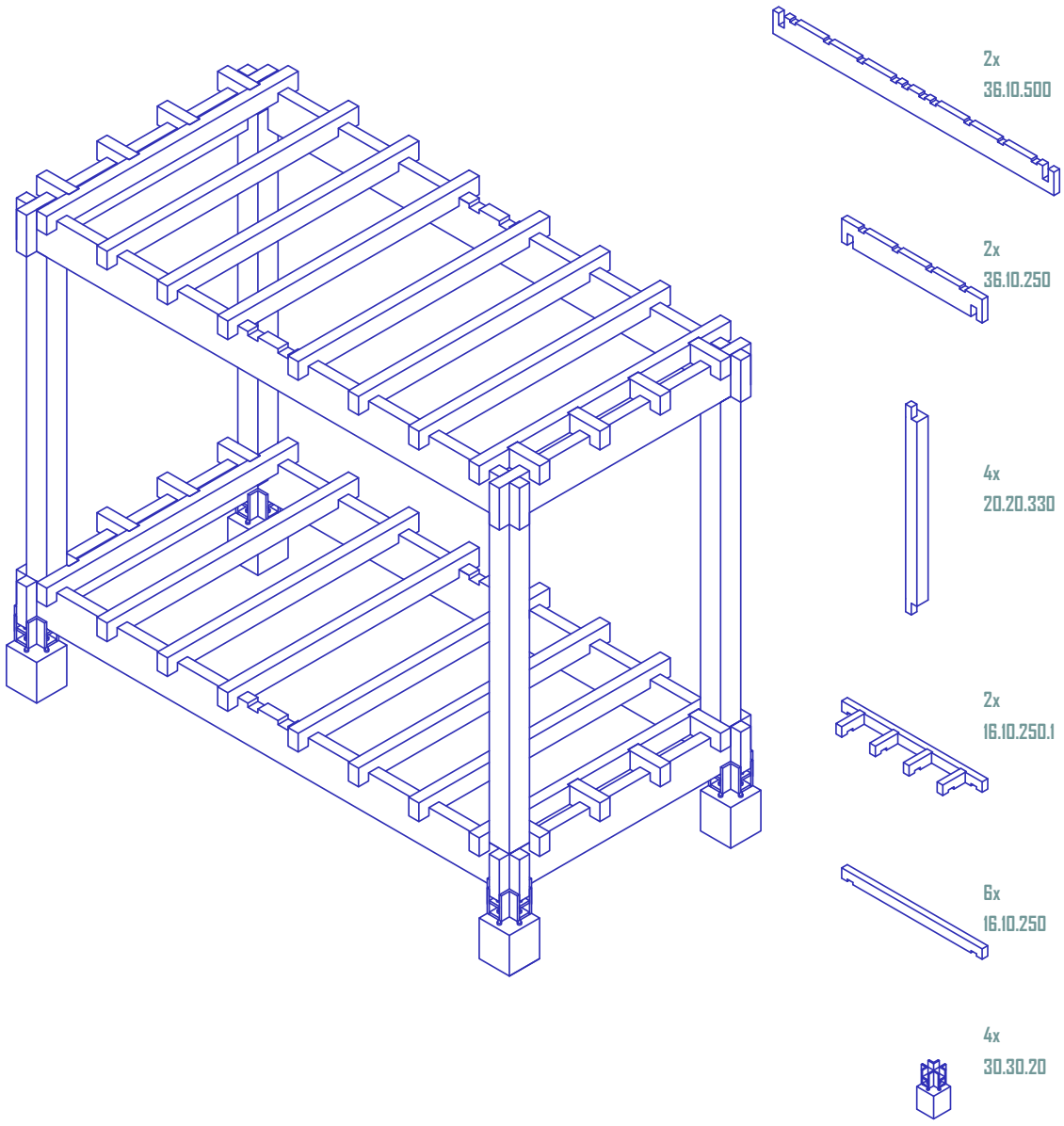


Fig. 04.02.117 - Assonometria del modulo Dado e abaco componenti. (elaborazione dell'autore).

2.1 Il modulo

Come accennato, la scelta dimensionale è legata ai limiti del trasporto standard. L'obiettivo è concepire un modulo agevolmente trasportabile, ma che al contempo non risulti troppo piccolo da costringere al posizionamento di un numero eccessivo di pilastri, i quali diventerebbero problematici per la distribuzione interna. La misura scelta, inoltre, è finalizzata a realizzare un rapporto tra lunghezza e larghezza pari a 2:1; in questo modo è possibile affiancare più unità in diverse combinazioni, anche ruotandole tra loro (Fig. 04.02.118). In aggiunta, la dimensione è stata definita per ottenere lo spazio sufficiente per una camera singola; un singolo modulo, infatti, è in grado di garantire una superficie utile interna di 10,5 metri quadrati. Qualora si volesse realizzare una camera doppia, è possibile affiancare due unità raggiungendo i 21 metri quadrati interni, una superficie ampiamente superiore al limite normativo[165] che permette di inserire spazi ausiliari come un disimpegno di accesso, una cabina armadio o un bagno en suite, come mostrato nella rappresentazione. In questo specifico caso sono stati utilizzati tre moduli per proporre una zona notte destinata a tre persone e composta da due stanze: la prima è una camera singola di 11 metri quadrati, i cui spazi sono pensati per ospitare un letto, una scrivania e un armadio; la seconda è una camera doppia di 19,3 metri

[165] D.M. Sanità, 5 luglio 1975, art. 2 (requisiti igienico-sanitari principali dei locali d'abitazione).

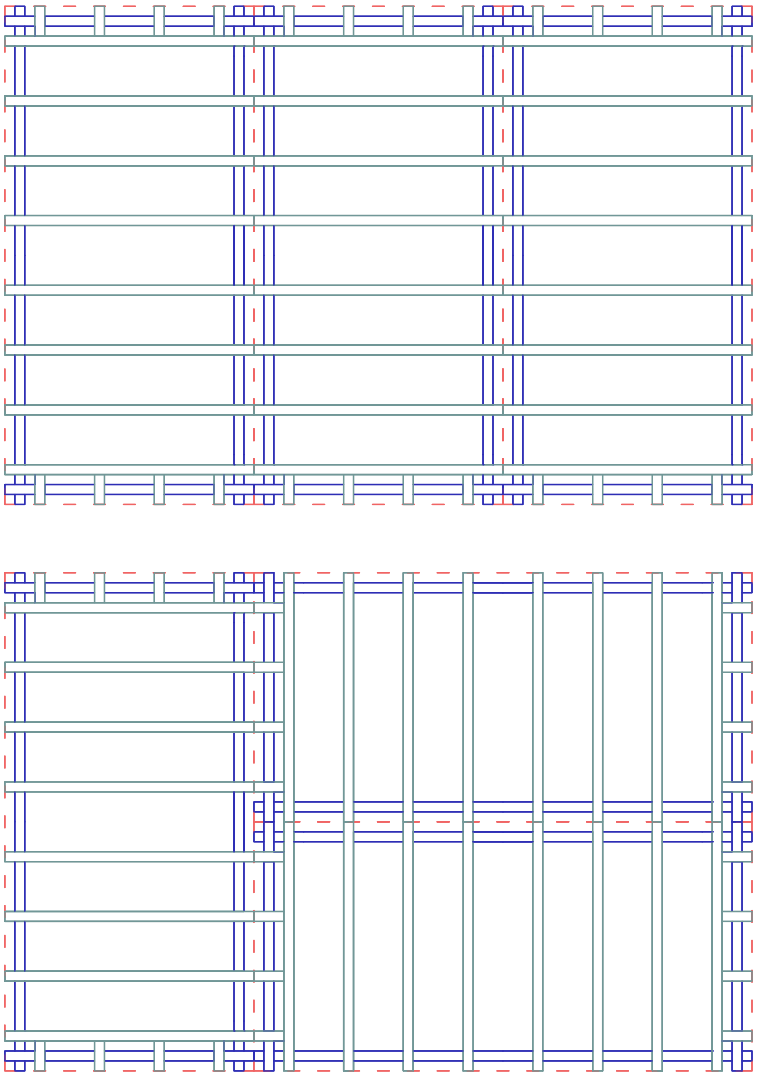


Fig. 04.02.118 - Accostamento moduli in diversi orientamenti. (elaborazione dell'autore).

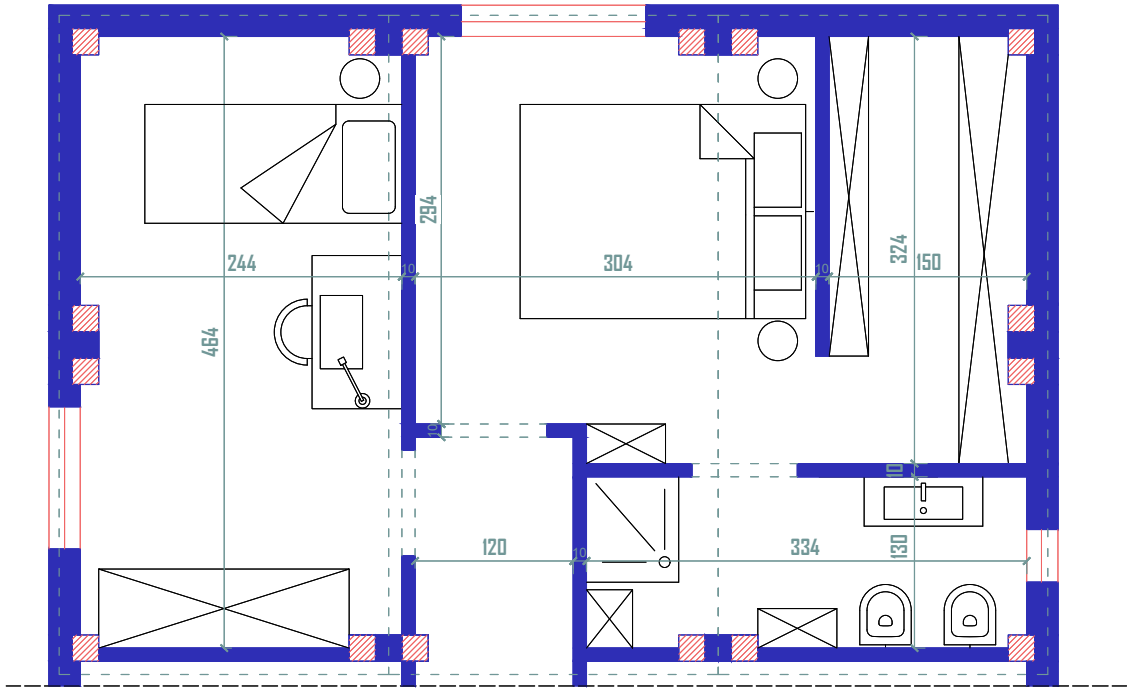


Fig. 04.02.119 - Distribuzione interna della zona notte mediante l'impiego di soli tre moduli. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

quadrati, dotata di bagno interno e cabina armadio (Fig. 04.02.119), i cui diversi tagli dimensionali derivano dalla redistribuzione interna tramite pareti divisorie.

Lo spazio offerto dalla struttura si presta a realizzare anche rimesse per moto o autovetture. Un solo modulo può offrire riparo fino a due motocicli (Fig. 04.02.120), mentre due unità offrono lo spazio per veicoli di piccole o medie dimensioni, come una berlina o una city car; per ospitare un SUV o un furgone sono invece necessari tre moduli (Fig. 04.02.121). L'immagine mostra la configurazione delle tre alternative, le quali impiegano sempre i medesimi componenti del modulo strutturale da 5 × 2,5 metri assecondando, al contempo, le diverse necessità del committente. La volontà di rendere il sistema flessibile e adattabile a più usi è pensata proprio per favorire una seconda vita dei componenti, offrendo un'ampia versatilità di impiego e reimpiego. Poiché le sezioni del modulo sono predimensionate per i carichi residenziali, nel caso delle autorimesse verranno

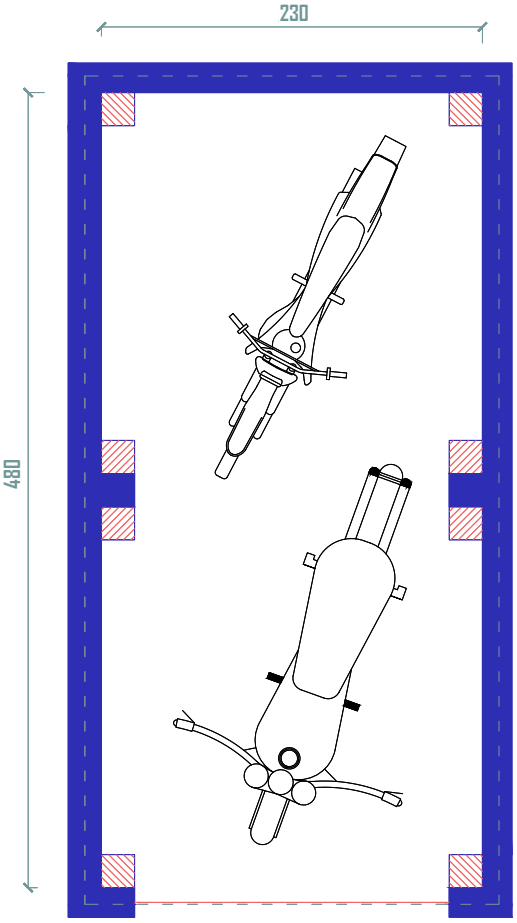


Fig. 04.02.120 - Impiego dei moduli per uso autorimessa per moto. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

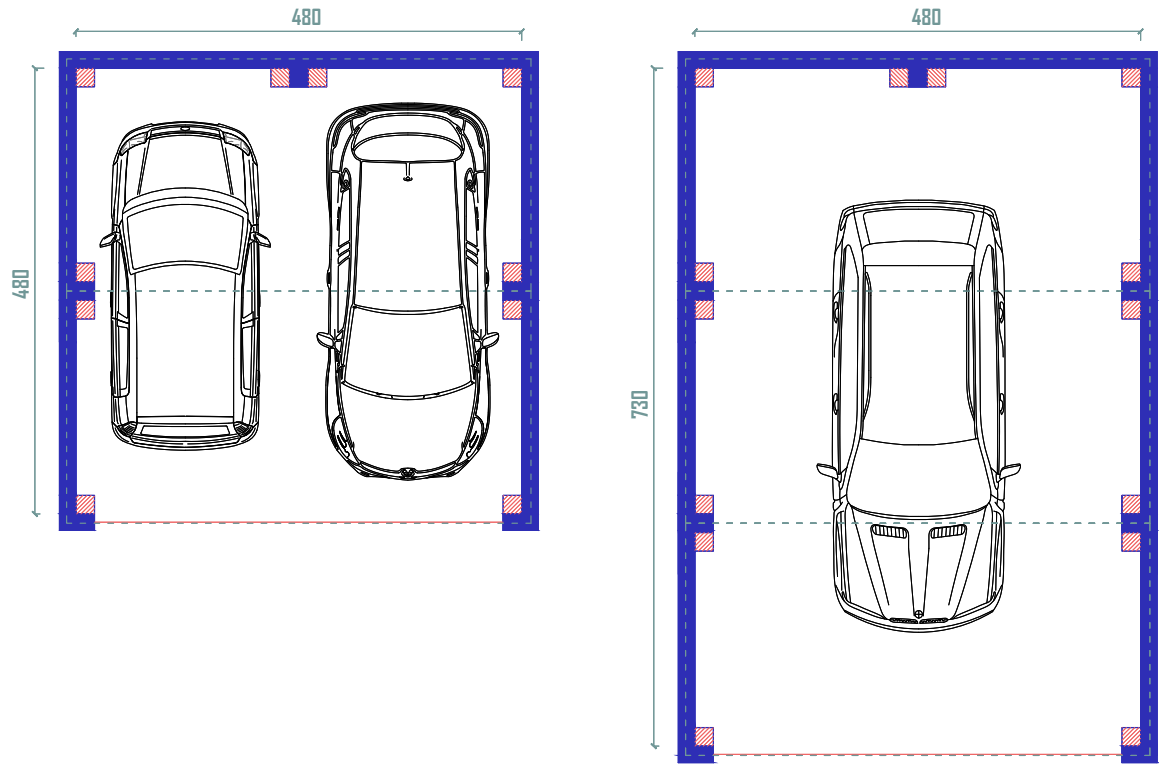


Fig. 04.02.121 - Impiego dei moduli per uso autorimessa per veicoli. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

impiegati unicamente i pilastri e la copertura ancorati direttamente a terra; in questo modo, il carico dei veicoli non graverà sulle strutture orizzontali del modulo, ma verrà assorbito direttamente dalle fondazioni sottostanti.

Entrando maggiormente nei particolari, la figura mostra come si presenti in pianta il modulo. Osservando il disegno (Fig. 04.02.122), si evince che le misure si basino su un numero principale di partenza, ovvero il 5, dal quale si ottengono sempre numeri interi e multipli dello stesso; ciò consente di semplificare la produzione degli elementi, i relativi controlli e le catalogazioni. Questa regola ha generato una serie di misurazioni ricorrenti come il 10, il 20 e il 50, con lo scopo di adottare le medesime sezioni o formati per il maggior numero di usi possibili, favorendo la produzione seriale degli stessi componenti sulla base di un numero limitato di dimensioni standard. Questo approccio garantisce, a fine vita del manufatto, un facile riutilizzo degli elementi per molteplici funzioni, conferendo alla struttura una maggiore flessibilità d'uso. In blu sono raffigurate le travi perimetrali principali e in verde acqua le secondarie, comprese le due di bordo; ai quattro angoli, i quadrati campiti indicano la posizione dei quattro pilastri, posti esattamente sotto l'incastro delle due travi perimetrali. La disposizione delle secondarie ha lo scopo di mantenere un passo costante, rispettando l'interasse di 50 centimetri tra l'una e l'altra, ad eccezione della zona centrale dove la distanza si attesta a 60 centimetri, variazione necessaria per rispettare la simmetria tra lato lungo e lato corto che permette di fissare le secondarie tra loro mediante l'ausilio di staffe metalliche, collegando così i vari moduli. In questo modo, in qualsiasi posizione o orientamento i moduli vengano posti, si troveranno sempre i corretti allineamenti delle secondarie. Infine, al centro si trovano due intagli che si allineano alla posizione delle travi principali di un eventuale modulo nel caso in cui venisse affiancato con il lato lungo su lato corto, installando delle secondarie in quella posizione si genera un alli-

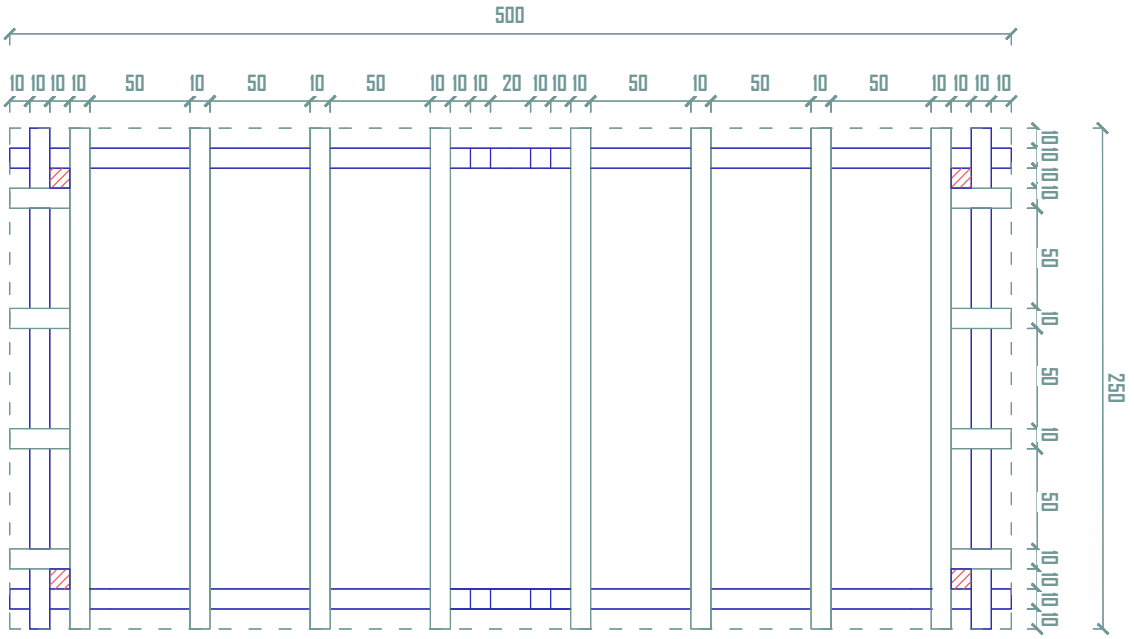


Fig. 04.02.122 - Schema del modulo mediante una vista dall'alto e i relativi incastri come il cross lap. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

neamento continuo delle travi di bordo necessario per la copertura.

I dettagli sono apprezzabili nell'assonometria (Fig. 04.02.123), dalla quale si sviluppano i diversi nodi dei dettagli costruttivi:

Nel nodo a. si comprende come le due travi di bordo si innestino mediante un incastro a cross lap per metà della loro sezione, ovvero per 18 centimetri; il fissaggio viene completato mediante una vite posta dall'alto. Il cross lap ha lo scopo di agevolare il posizionamento degli elementi, così da realizzare il perimetro del modulo.

Nel nodo b. si apprezza quanto l'intaglio comporti una perdita importante della sezione, punto in cui si concentrano i maggiori sforzi di taglio; è per questo che il nodo è configurato in modo tale da scaricare l'incastro direttamente sulla testa del pilastro, così da far lavorare il legno unicamente in compressione verticale. Il pilastro, infatti, grazie alla geometria della sua testa, offre una duplice superficie di appoggio da 10 centimetri ciascuna: la prima funge da base direttamente al di sotto del cross lap, mentre la seconda sostiene la porzione attigua della trave di bordo laddove la sezione ritorna intera. Quest'ultima scelta permette alla trave a pieno spessore di assorbire efficacemente gli sforzi di momento e taglio, demandando all'incastro a mezzo legno (cross lap) il solo ruolo di accoppiamento meccanico tra gli elementi perimetrali. Il dettaglio mostra anche il dente del pilastro di 10x10x18 centimetri che si innesta dall'interno nell'angolo generato dall'unione perpendicolare tra le due travi perimetrali. Le estremità del pilastro sono sagomate in questo modo sia per permettere l'appoggio di entrambe le travi di bordo, come precedentemente descritto, sia per agevolare il suo posizionamento. Questa operazione viene svolta semplicemente appoggiando il dente contro le due travi perpendicolari, garantendo il giusto orientamento senza la necessità di prendere misurazioni. Il fissaggio viene poi completato mediante viti passanti dal dente alle travi.

Nel nodo c. viene mostrato l'innesto a cross lap tra la trave secondaria e la trave di bordo; lo scasso è profondo 3,5 centimetri sia per la principale che per la secondaria e, come per le principali, il fissaggio viene completato con una vite posta dall'alto che ne impedisce ogni movimento.

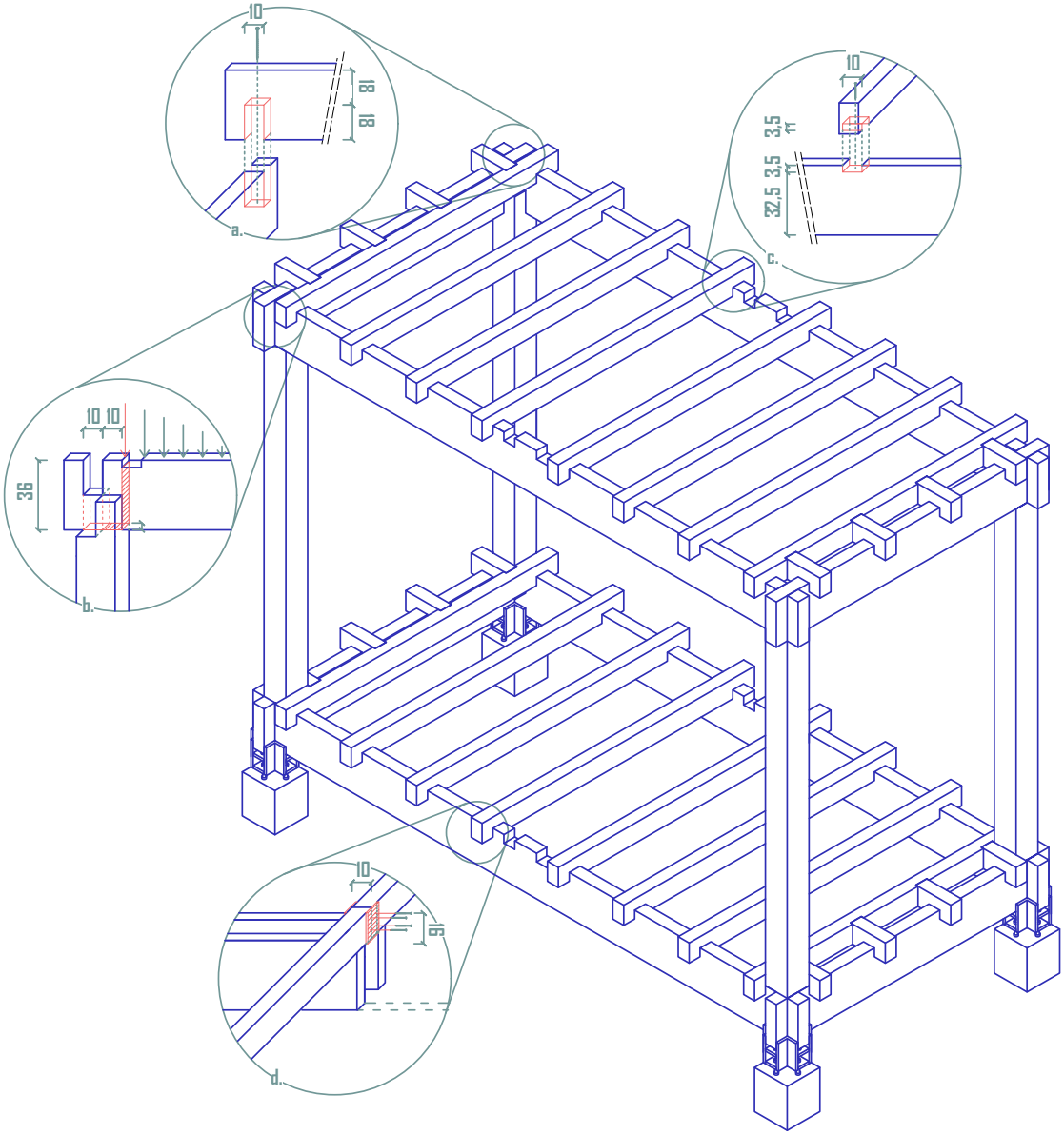


Fig. 04.02.123 - Assonometria del modulo con schemi dei dettagli delle giunzioni fra le parti. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Nel nodo d., invece, viene mostrato il collegamento delle secondarie di diversi moduli affiancati mediante piastre metalliche e viti; lo sbalzo delle estremità di 10 centimetri permette un semplice serraggio su ogni secondaria, rendendo il solaio un unico diaframma continuo.

Il materiale impiegato per il modulo è il legno lamellare certificato. Questo perché, trattandosi di un materiale ingegnerizzato, esso rende prevedibile il comportamento strutturale degli elementi, limitando gli imprevisti e garantendo le loro capacità portanti nel tempo, oltre a ridurre il rischio di eccessivi ritiri o espansioni che potrebbero generare tensioni interne.

Al fine di rendere agevole il montaggio, il dimensionamento degli elementi e soprattutto degli intagli non viene rispettato al millimetro; si prevede infatti, dove vi è necessità, che i macchinari realizzino una tolleranza di gioco, al fine di permettere l'incastro reciproco degli elementi, evitando difficoltà di scorrimento.

Dagli schemi riportati si evince che la sezione usata per tutte le travi è di 10 centimetri; questo

perché, mantenendo profili contenuti, si permette un facile intaglio degli elementi da parte dei macchinari CNC, abili nel realizzarli in pochi minuti ciascuno, grazie a una larghezza contenuta.

Questa scelta rende le lavorazioni veloci e in generale poco laboriose per i macchinari, così da sfruttare i vantaggi generati dagli incastri ma senza cadere in lavorazioni lunghe e costose. La realizzazione delle incisioni, infatti, non ha solo lo scopo di bloccare gli elementi, ma anche quello di agevolare una posa rapida e precisa riducendo le misurazioni effettuate, abbattendo l'errore umano. Come accennato, essi non sono i soli a garantire la tenuta, ma vengono affiancati da viti e staffe metalliche per le giunzioni.

2.2 La trave principale su lato lungo del modulo

La trave principale del modulo da 5 × 2,5 metri presenta una lunghezza di 500 centimetri e una sezione trasversale di 10 centimetri di base × 36 centimetri di altezza. Una volta tagliata la trave alla lunghezza corretta, essa subisce dodici tagli a dado joint tutti sull'estradosso; questo evita di doverla ruotare dal lato opposto, rendendo le lavorazioni molto più rapide. I tagli più importanti sono posizionati alle due estremità della trave, in questi punti viene rimosso materiale per realizzare due intagli profondi 18 centimetri e larghi 10 centimetri, utili a predisporre il successivo incastro a mezzo legno (cross lap) con la trave da 2,5 metri ad essa ortogonale. Lungo la campata interna vengono eseguiti altri dieci intagli, di una profondità di 3,5 centimetri e una larghezza di 10 centimetri, quote sufficienti per ospitare l'orditura secondaria del solaio.

Al termine del ciclo di fresatura automatizzata, la trave pesa solamente 90 chilogrammi (considerando il peso del legno lamellare medio di 500 chilogrammi / metro cubo). L'elemento sviluppa infatti un volume di 0,18 metri cubi, escludendo lo sfrido di 0,007 metri cubi, per cui è spostabile da quattro uomini oltre che dai macchinari. Considerando che la trave principale rappresenta l'elemento strutturalmente più massiccio e impattante dell'intero modulo, il dato sul peso evidenzia l'enorme vantaggio competitivo di questo sistema in termini di leg-

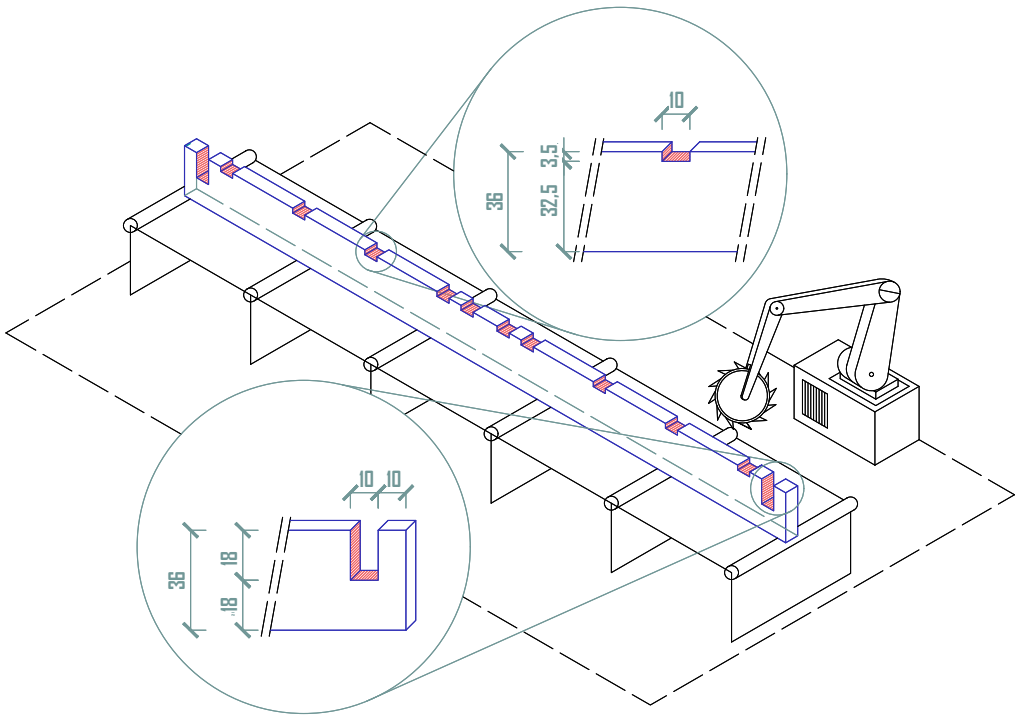


Fig. 04.02.124 - Assonometria della trave da 5 metri con le relative specifiche sulle lavorazioni condotte in stabilimento. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

gerezza, logistica e cantierizzazione rispetto alle tradizionali controparti cementizie (Fig. 04.02.124).

La sezione 36 x 10 centimetri è frutto di un predimensionamento preliminare, basato sulla luce della trave. La formula applicata è pari a luce / 15; gli appoggi dei pilastri non sono agli estremi, ma i loro assi distano fra loro di 460 centimetri, per cui questo valore corrisponde alla luce di calcolo della trave. Applicando la formula 460 / 15 si ottiene 30,7 centimetri di sezione minima da impiegare. Poiché questa sezione resistente va garantita lungo la campata, la sezione lorda scelta è di 36 centimetri per poter ospitare i dado joint profondi 3,5 centimetri; andandoli a sottrarre dalla sezione totale, rimangono effettivi 32,5 centimetri di sezione netta nei punti minimi, valore che si mantiene al di sopra del limite precedentemente calcolato di circa 31 centimetri.

La trave, come accennato, è larga 10 centimetri; la larghezza è quindi pari a 1/3,6 dell'altezza e questo rapporto di snellezza potrebbe comportare problemi di sbandamento laterale o effetti torsionali. È per questo motivo che gli incastri con le travi secondarie giocano un ruolo fondamentale nel comportamento ai carichi. Le secondarie, bloccate dall'incastro e da una vite passante, limitano i movimenti della trave di bordo impedendo la riduzione della sezione resistente della trave nelle zone maggiormente sollecitate.

Come accennato, gli sforzi di taglio massimi si concentrano in corrispondenza degli appoggi; in quei punti, immediatamente prima dello sbalzo terminale, la trave lavora con la sezione netta di 32,5 centimetri, risultando preliminarmente compatibile con il criterio geometrico adottato per il predimensionamento, come si vede chiaramente dallo schema strutturale (Fig. 04.02.125).

La scelta della sezione di 36 centimetri è dovuta anche a fattori pratici: le lamelle del legno lamellare sono spesse 4 centimetri ognuna, ed è quindi necessario scegliere sezioni commerciali che siano multipli di questo fattore. Nel nostro caso sono necessarie esattamente 9 lamelle da 4 centimetri. Questi sono stati i ragionamenti che hanno guidato la scelta dei predimensionamenti; trattandosi di calcoli di massima, non si esclude la necessità di effettuare ulteriori verifiche mediante software specifici, controllando ogni effetto statico e dinamico.

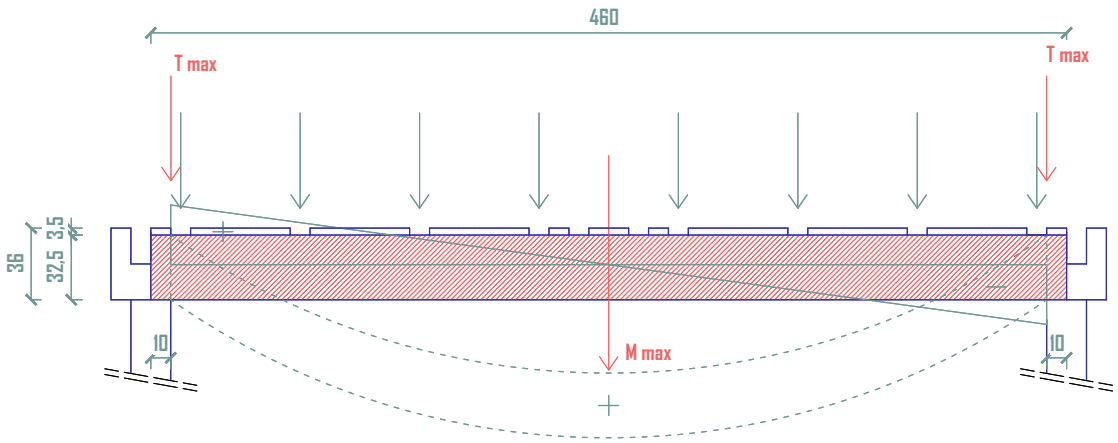


Fig. 04.02.125 - Schema statico di semplice appoggio della trave più sollecitata del sistema, in evidenza è la porzione della trave designata ad assorbire i maggiori sforzi. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

2.3 La trave principale su lato corto del modulo

La trave perimetrale corta del modulo da 5 × 2,5 metri presenta una lunghezza di 250 centimetri e una sezione trasversale di 10 centimetri di base × 36 centimetri di altezza. Una volta tagliata la trave alla lunghezza corretta, essa subisce due tagli a dado joint entrambi sull'intradosso, profondi 18 centimetri e larghi 10 centimetri, per permettere l'incastro della trave da 5 metri ad essa ortogonale, e quattro intagli sull'estradosso, sempre profondi 3,5 centimetri e larghi 10 centimetri. Questa configurazione richiede che la trave venga ruotata sul suo asse durante le lavorazioni; si tratta di un passaggio obbligatorio da eseguire o su questa trave o su quella da 5 metri e, di conseguenza, date le minori dimensioni e il minor peso, è stata scelta questa unità da 2,5 metri per assorbire tale lavorazione.

Al termine del ciclo di fresatura automatizzata, la trave pesa solamente 45 chilogrammi (considerando il peso del legno lamellare medio di 500 kg/m³). L'elemento sviluppa infatti un volume di 0,09 metri cubi, escludendo lo sfrido di 0,005 metri cubi, per cui è agevolmente spostabile da due persone oltre che dai macchinari (Fig. 04.02.126).

L'altezza di 36 centimetri in confronto alla luce è sovradimensionata; la scelta di questa sezione è dovuta ai vantaggi offerti dalla selezione di un unico profilo per tutte le travi perimetrali. La lavorazione di un solo formato permette una produzione in grande scala dello stesso e, allo stesso tempo, rende costanti i settaggi dei macchinari atti a produrli. Inoltre, si ottiene il beneficio di completare il telaio del sistema costruttivo con i medesimi dimensionamenti, beneficiando di una grande facilità di montaggio, nonché di coerenza costruttiva ed estetica. In aggiunta, come si evince dagli schemi, questa trave ha il compito di assorbire i carichi provenienti dalle secondarie di bordo: è per questo motivo che i quattro intagli fungono da appoggio per esse.

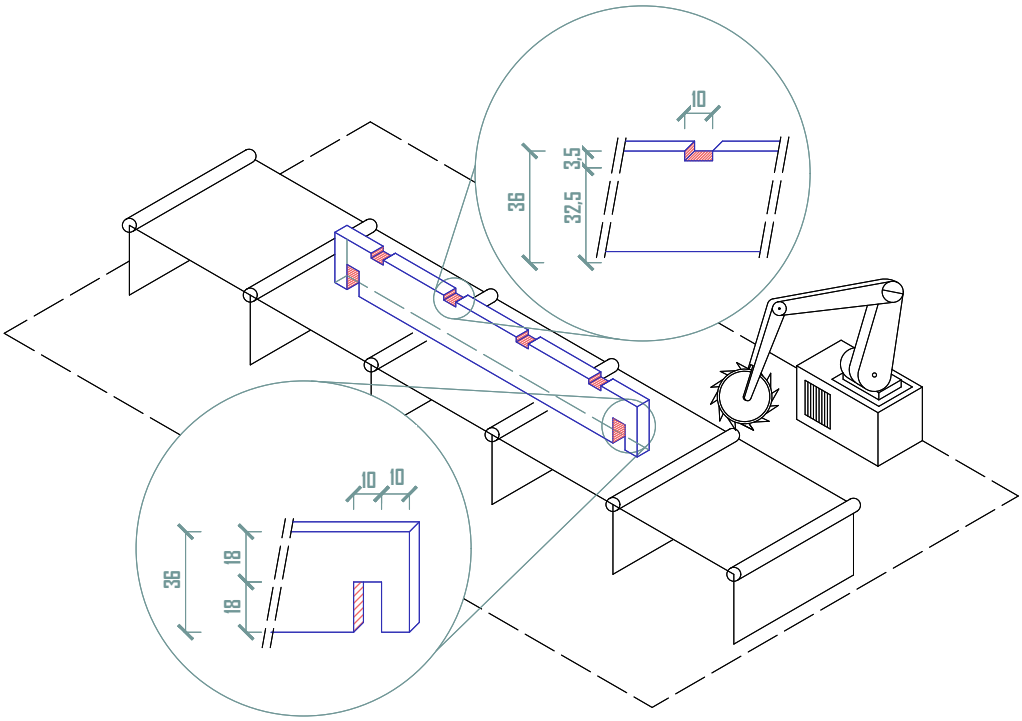


Fig. 04.02.126 - Assonometria della trave da 2,5 metri con le relative specifiche sulle lavorazioni condotte in stabilimento. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

2.4 La trave secondaria

La trave secondaria del modulo da 5 × 2,5 m presenta una lunghezza nominale di 250 centimetri e una sezione trasversale di 10 centimetri di base × 16 centimetri di altezza. Una volta tagliata la trave alla lunghezza corretta, essa subisce due tagli a dado joint, entrambi sull'intradosso; questo evita di doverla ruotare sul lato opposto, rendendo le lavorazioni molto più rapide. I tagli si presentano solo alle due estremità della trave: in questi punti viene rimosso il materiale per una profondità di 3,5 centimetri e una larghezza di 10 centimetri, al fine di permettere l'incastro della secondaria alla trave da 5 metri ad essa ortogonale.

Al termine del ciclo di fresatura automatizzata, l'elemento pesa solamente 20 chilogrammi (considerando il peso del legno lamellare medio di 500 chilogrammi/metro cubo). L'elemento sviluppa infatti un volume di 0,04 metri cubi, escludendo lo sfrido di 0,0007 metri cubi, per cui è spostabile agevolmente da un solo operatore.

La sezione è stata scelta con un'altezza di 16 centimetri per un primo motivo pratico: le lamelle del legno lamellare sono spesse 4 centimetri ciascuna, per cui sono necessarie esattamente quattro lamelle. In secondo luogo, la distanza interasse massima tra le secondarie è di 60 centimetri, a fronte di una luce netta contenuta di soli 2,2 metri (Fig. 04.02.127).

In corrispondenza di entrambi i bordi del modulo, l'ultima trave secondaria presenta una caratteristica aggiuntiva: ad essa sono fissati, mediante viti e incastro, quattro elementi secondari da 30 centimetri di lunghezza. Questi componenti hanno il compito di realizzare gli appoggi per i pannelli in osb, offrire un sostegno alle eventuali pareti perimetrali o, nel caso di moduli affiancati sul lato corto, garantire la possibilità di collegamento degli stessi tramite staffe metalliche (Fig. 04.02.128).

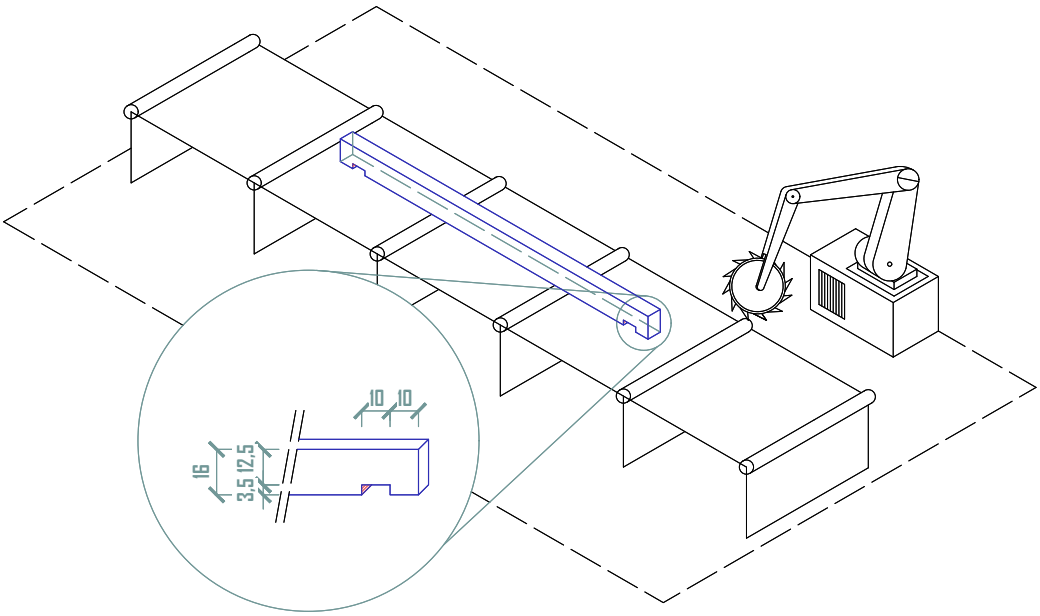


Fig. 04.02.127 - Assonometria della trave secondaria da 2,5 metri con le relative specifiche sulle lavorazioni condotte in stabilimento. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

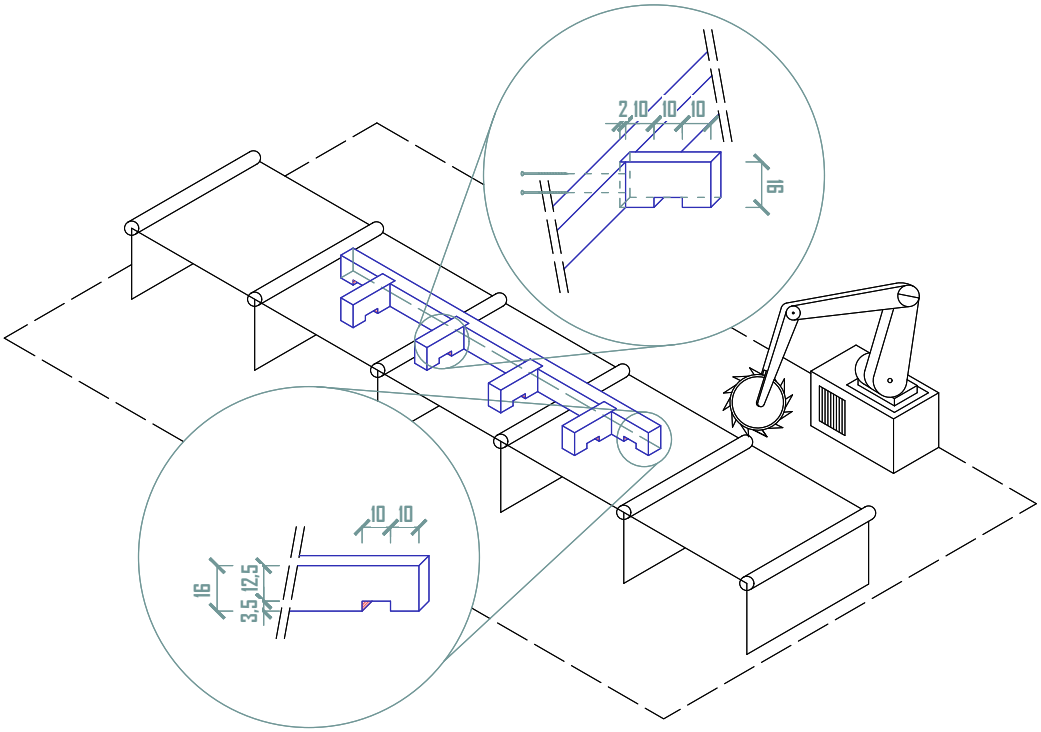


Fig. 04.02.128 - Assonometria della trave da 2,5 metri con le relative specifiche sulle lavorazioni condotte in stabilimento. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

2.5 Il pilastro

Il pilastro del modulo da 5 × 2,5 m presenta una lunghezza nominale di 330 centimetri e una sezione trasversale quadrata di 20 × 20 centimetri. Una volta tagliato il pilastro alla lunghezza corretta, esso subisce due sagomature mediante degli intagli alle estremità. In questi punti viene rimosso il materiale per una profondità di 18 centimetri, in modo da preservare intatto un dente d'incastro con base di 10 × 10 centimetri.

Al termine del ciclo di fresatura automatizzata, l'elemento sviluppa un volume di 0,132 metri cubi, escludendo lo sfrido di 0,01 metri cubi. Di conseguenza, l'elemento finito pesa solamente 66 chilogrammi (considerando un peso specifico medio del legno lamellare di 500 chilogrammi/metro cubo), configurandosi come un elemento spostabile da tre operatori oltre che dai macchinari (Fig. 04.02.129).

La sezione di 20 × 20 centimetri è stata mutuata dall'analisi del caso studio del progetto RuralZED, in cui il sistema costruttivo a telaio era dimensionato per sostenere materiali di rivestimento e carichi molto gravosi. Inoltre, come nei casi precedenti, la misura è stata definita per rispettare il vincolo geometrico dello spessore delle singole lamelle del legno lamellare, che si attesta a 4 centimetri; per comporre la sezione sono quindi necessarie esattamente cinque lamelle.

Il pilastro presenta questa lavorazione particolare alle estremità per generare la spalla di appoggio delle travi perimetrali, mentre il dente ha il fine di offrire un facile posizionamento in fase di assemblaggio. Infatti, dopo aver posato il telaio delle travi, il pilastro può essere calato ai quattro angoli del modulo e adagiato sulle travi perimetrali (di sezione 36 × 10 centimetri), impiegando il dente come guida geometrica, come precedentemente descritto. Il fissaggio viene infine ultimato mediante viti di collegamento strutturale e piastre tra il pilastro e le travi sulle quali poggia. (Fig. 04.02.129).

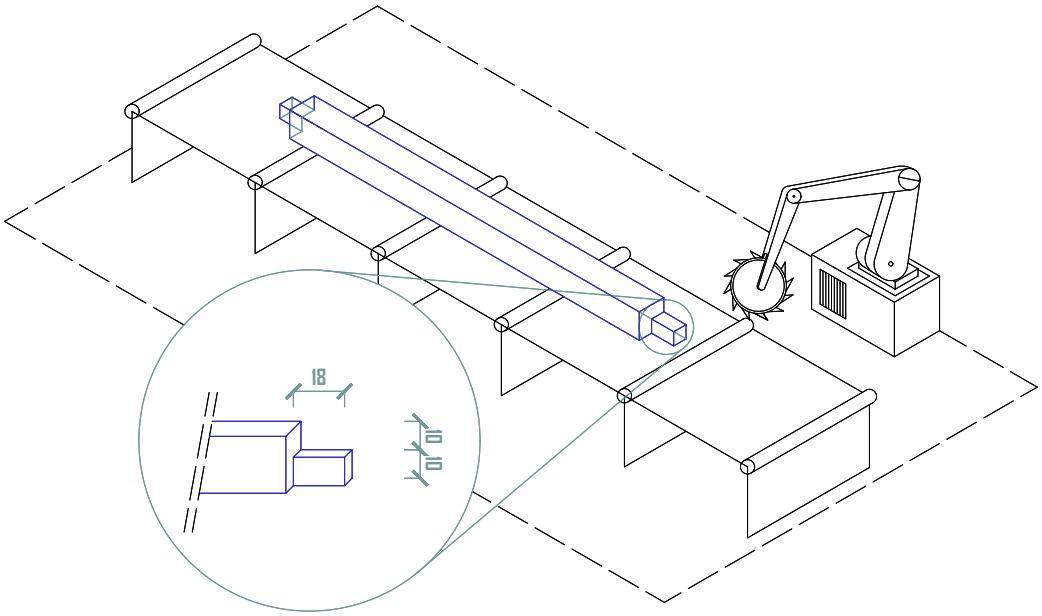


Fig. 04.02.129 - Assonometria del pilastro da 3,2 metri con le relative specifiche sulle lavorazioni condotte in stabilimento, in particolare alle estremità. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

2.6 La staffa di ancoraggio modulo-fondazione

La staffa metallica di appoggio del modulo da 5 × 2,5 m è stata concepita, a livello geometrico, per favorire il sostegno delle travi perimetrali del telaio di base; la sua forma a croce consente infatti di alloggiare centralmente il punto di intersecazione a cross lap e, sulle quattro ali da 10 centimetri, la porzione terminale delle travi stesse. Alla fondazione verranno applicate quattro barre filettate, posizionate al centro di ogni sporgenza della croce, in modo da poter regolare la planarità della piastra stringendo o allentando i dadi, eliminando così le piccole imperfezioni di livello derivanti dal getto in calcestruzzo armato.

Il fissaggio strutturale viene garantito da viti passanti che, attraversando le ali della staffa, mordono le travi principali; ciò consente di impedire qualsiasi cinematica, sebbene la stessa geometria a croce vincoli già efficacemente i movimenti orizzontali. Il sollevamento da terra mediante questi sostegni puntuali annulla il contatto diretto con la fondazione, riducendo significativamente il rischio di umidità per contatto diretto; inoltre, l'intercapedine così generata permette una costante ventilazione

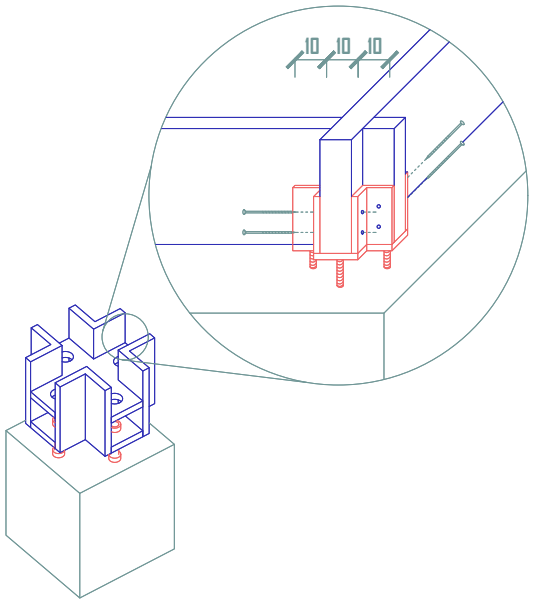


Fig. 04.02.130 - Assonometria della piastra metallica di collegamento della struttura del modulo alle fondazioni, con un dettaglio del fissaggio mediante viti. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

sottostante alla struttura, mantenendola sempre asciutta (Fig. 04.02.130).

Nel caso di territori caratterizzati da una maggiore pericolosità sismica, è possibile sostituire queste piastre con elementi speciali dotati di isolatori sismici integrati. Il grande vantaggio di installare un telaio sollevato fin dal piano terra, senza adagiarsi direttamente sulla fondazione, risiede nel fatto che l'intera struttura poggia unicamente su questi supporti metallici in modo puntuale; tale configurazione è potenzialmente in grado di introdurre un sistema di isolamento sismico, previa verifica e progettazione specifica.

03
L'involucro edilizio

In questo paragrafo viene affrontata la tematica delle stratigrafie dei sistemi di chiusura scelti per il modulo, fra i quali la fondazione, il pavimento, le pareti perimetrali e la copertura. Le stratigrafie sono state scelte per fornire le opportune condizioni di comfort abitativo, durabilità e protezione delle parti e, allo stesso tempo, sono state riviste in chiave di elementi modulari, in modo tale da permettere anche in questo caso una produzione in quantità degli stessi e, in parallelo, velocità di posa.

3.1 La struttura di fondazione Dado

La preparazione del sito può avere inizio in contemporanea con la produzione negli stabilimenti degli elementi dei moduli; data la precisione degli stessi, anche la fondazione deve essere precisa per ospitarli, garantendo il giusto allineamento delle parti.

Gli operai iniziano la preparazione del sito eseguendo prima la pulitura dell'area, ed in seguito rimuovono il terreno per far posto alle componenti della fondazione, effettuando uno scavo poco profondo di soli 21 centimetri (la fondazione emerge rispetto la quota di terra). Lo scavo viene realizzato per tutta la zona sulla quale poggiano i moduli, maggiorata di un metro per lato, oltre che per eventuali altre zone necessarie per il progetto.

All'interno viene realizzato un magrone di spessore 10 centimetri, che ha il compito di preparare un piano di posa pulito; in seguito, si getta uno strato di circa 5 centimetri di calcestruzzo autocompattante fluido, così da rendere la superficie il più possibile planare, fungendo da piano di tracciamento ed eliminando i difetti del magrone grezzo.

Questi strati preparano la base sulla quale tracciare, mediante robot autonomi, la posizione dei plinti prefabbricati e dei muri di bordo in cemento armato da gettare in opera. Questo passaggio è cruciale per ottenere un posizionamento perfetto degli elementi, evitando ogni errore umano di misurazione che possa compromettere le fasi successive.

Una volta ottenuto il disegno CAD direttamente sulla base, vengono posati i plinti in cemento armato prefabbricati di dimensioni 30 x 30 x 35 centimetri, provvisti di ferri di armatura di ripresa

ai lati e, al di sopra, di quattro barre filettate annegate nel blocco stesso. Effettuati i controlli sull'accurato posizionamento, si procede con l'armatura e il getto dei muri di bordo in cemento armato di sezione 35 x 20 centimetri che mettono in collegamento i vari plinti grazie anche ai ferri di ripresa degli stessi, assicurandosi che il tutto non subisca spostamenti. Questi muri contengono nel getto, dove necessario, dei controtubi che permettono di ottenere delle aperture per il passaggio degli impianti; inoltre, hanno la funzione di bloccare ogni spostamento dei plinti e di contenere gli igloo, per questo è opportuno inserire nel getto delle tubazioni atte a permettere la ventilazione naturale del sottofondo.

Segue l'impermeabilizzazione delle superfici verticali esterne dei muri e dei plinti con una guaina bituminosa da 3 millimetri, che ha il compito di isolare la fondazione dall'acqua e dall'umidità del terreno. Consolidata la griglia dei plinti e delle travi di bordo, si posano al suo interno gli impianti nelle posizioni previste da progetto: i collettori di scarico delle acque nere e grigie, le reti di adduzione idrica e le linee di alimentazione elettrica, facendoli correre sul piano liscio di fondo.

Segue la posa degli igloo da 50 x 50 x 30 centimetri, i quali si posizionano a cavallo delle tubazioni senza interferire con esse, e il successivo getto in calcestruzzo di 5 centimetri, così da raggiungere perfettamente il livello delle travi di bordo di contenimento e dei plinti prefabbricati, completando la platea di fondazione.

Dalla platea affioreranno a questo punto solo le barre filettate dei plinti alle quali si ancorano le staffe metalliche; mediante dadi si garantisce il fissaggio e il corretto livellamento delle stesse, permettendo di regolarle in verticale. Mediante un provino in alluminio di dimensioni identiche a quelle del telaio del modulo viene controllato che esse siano correttamente posizionate anche sul piano orizzontale; in questo caso, per regolare eventuali allineamenti, entrano in aiuto le asole presenti nelle staffe che offrono un leggero gioco. Il movimento viene in seguito totalmente bloccato con ulteriori dadi avvitati dall'alto in basso con avvitatori ad impulsi ad alta coppia.

Per realizzare eventuali scale o rampe si posano blocchi in cemento armato con forma scelta del progettista direttamente sul magrone, posati separatamente dalla platea stessa e, di conseguenza anche dalla futura abitazione. Questo per garantire una reversibilità delle parti accessorie dell'immobile, ma allo stesso tempo risultano utili per l'accessibilità.

Il sito viene ripristinato, posando al bordo della platea un letto di ghiaia alto circa 20 centimetri con all'interno una tubazione che agevola il deflusso delle acque meteoriche, e attorno ad essa un manto di terra di riporto precedentemente rimossa, che copre sia la ghiaia che il magrone sporgente (Fig. 04.03.131).

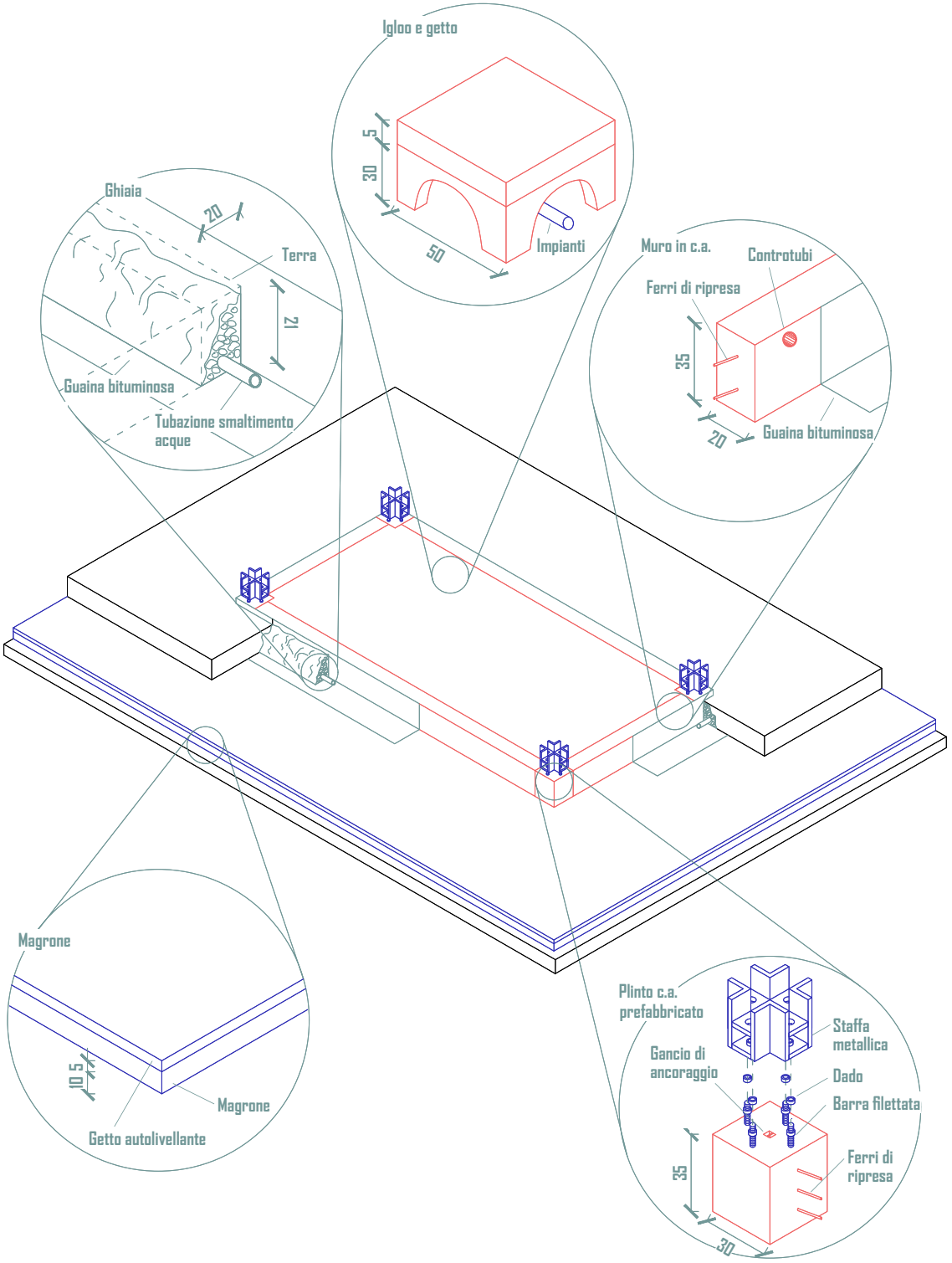


Fig. 04.03.131 - Assonometria della fondazione del modulo Dado, in dettaglio gli elementi che la compongono con le relative specifiche. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

3.2 La chiusura orizzontale inferiore Dado

Mentre le fondazioni vengono ultimate, in stabilimento è già iniziata la produzione dei componenti. Il solaio del piano terra sarà il primo elemento a essere calato sulle piastre metalliche.

Non tutte le parti che lo compongono, però, possono essere fissate in modo definitivo in fabbrica; il sistema Dado, in generale, prevede che le finiture e gli impianti siano posati in loco, sia per non rendere troppo complessa la gestione degli stessi durante la posa dei moduli, sia per garantire la continuità impiantistica e delle finiture. Il telaio, composto dalle travi principali e secondarie, viene rivestito da diversi strati che assolvono a differenti funzioni, fermandosi momentaneamente allo strato che avrà il compito di alloggiare le reti tecnologiche.

La prima operazione da svolgere, essendo il telaio rivolto verso la fondazione, è il rivestimento dal basso: sotto le secondarie si applica uno strato di OSB da 18 millimetri avvitato ad esse, che ha lo scopo di contenere la lana di roccia spessa 16 centimetri posta fra le secondarie; questa specifica operazione non viene svolta per i solai dei piani successivi.

Successivamente si prepara il piano d'appoggio planare per gli strati che si poseranno sopra il telaio. Dato che le secondarie sbordano di 9 centimetri rispetto all'estradosso della trave principale, si fissano gli elementi coprifilo, realizzati con un listello di dimensioni 9 x 10 x 50 centimetri e uno strato di OSB fissato su entrambe le facce del blocco. Ciò perché l'OSB sporge di 2,5 centimetri da esso e rende l'elemento facilmente posabile, ancorandosi perfettamente sulla trave di bordo. Un fissaggio a vite ne blocca ogni spostamento.

Ora che il piano è realizzato, si posa uno strato di OSB da 2,2 centimetri, il quale viene intagliato in fabbrica grazie ai disegni CAD e a specifici macchinari per realizzare un'unica grande lastra; al centro dei lati più lunghi e agli angoli si realizzano già dei fori per il futuro passaggio dei pilastri, agevolando la loro successiva posa. Il foglio di OSB viene posato sul telaio e avvitato allo stesso, rendendo di fatto il solaio un diaframma rigido e racchiudendo la lana di roccia posta inferiormente. Nel caso in cui il solaio sia invece in un piano intermedio, prima dell'OSB si predispone uno strato di 1 centimetro di perlinato, dato che sarà visibile dall'interno e per questo dovrà essere scelto in accordo con il committente.

Al fine di realizzare uno strato che contenga gli impianti idrici, di scarico ed elettrici, sopra lo strato di OSB si posano dei listelli di sezione 5 x 10 centimetri, avvitati poggiando sul lato da 5 centimetri per lasciare un'altezza utile di 10 centimetri; questi sono posti esattamente in corrispondenza delle sottostanti secondarie per trasferire il carico in modo diretto e presentano delle interruzioni per far passare gli impianti in ogni direzione, nonostante la fitta listellatura. Come accennato, in stabilimento si può preassemblare la struttura fino al vano di contenimento degli impianti, dopodiché i successivi strati, rappresentati in verde acqua nello schema, verranno realizzati direttamente in loco.

Infatti, spostandoci in cantiere dopo aver posato gli impianti, si applica un ulteriore pannello di OSB da 18 millimetri, questa volta composto da più pannelli già pre-tagliati in stabilimento e che richiedono solo il fissaggio tramite viti. Su di esso si prevede un sottile strato di 3 millimetri di tappetino acustico anticalpestio per smorzare i rumori fra i vari piani e, al di sopra, un sistema radiante a pavimento con uno spessore complessivo di 5 centimetri.

Infine, l'ultimo strato, come nel caso del perlinato, sarà visibile e per questo sarà a discrezione del cliente sceglierne la tipologia. Si può in-

stallare ad esempio del parquet o una piastrellatura e, dato che non è definito nel dettaglio, per questo strato di finitura è stato ipotizzato uno spessore complessivo di 2 centimetri (Fig. 04.03.132).

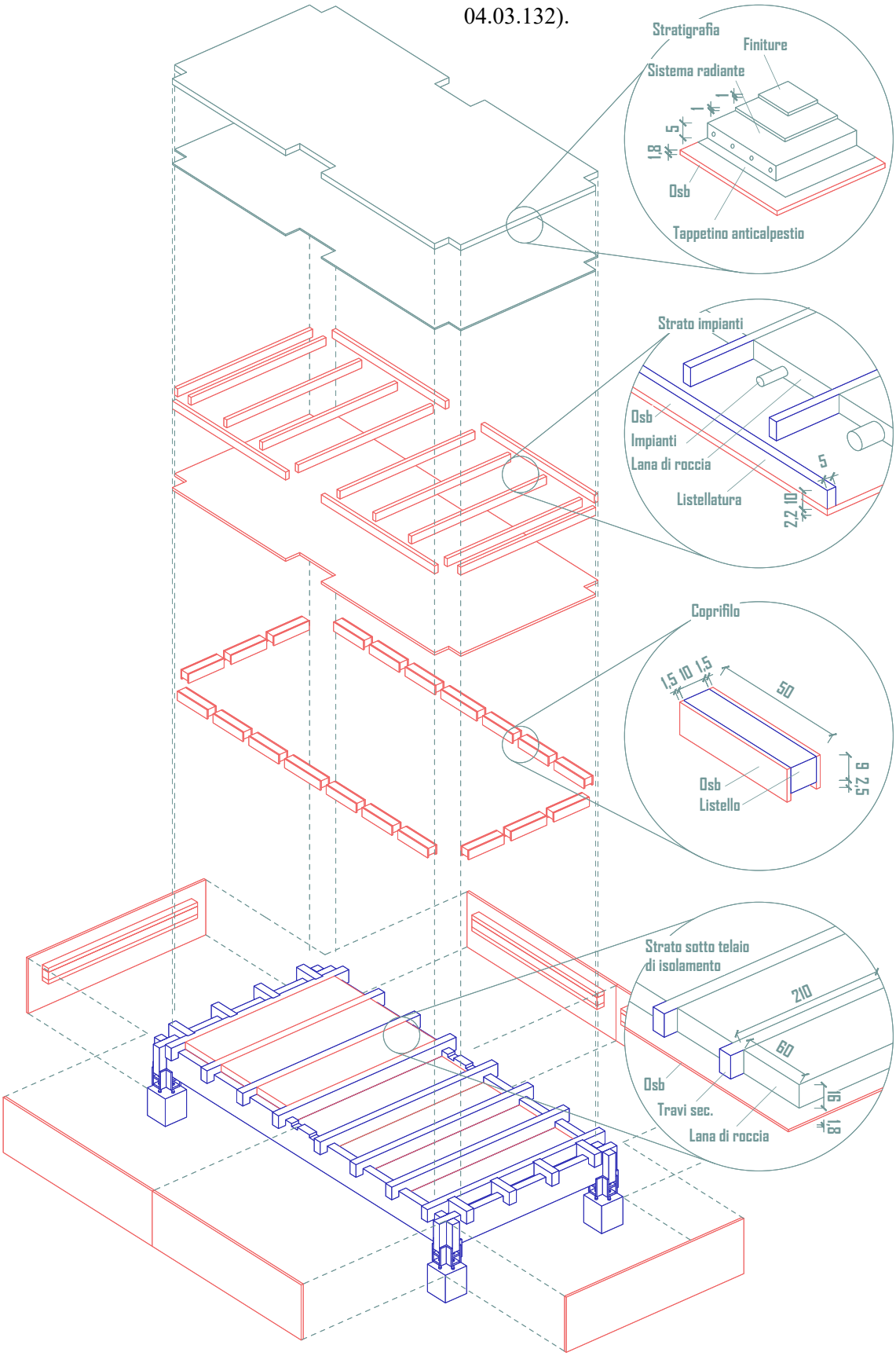


Fig. 04.03.132 - Assonometria della pavimentazione del modulo Dado al piano terra, in dettaglio gli elementi che la compongono con le relative specifiche. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

La pavimentazione permette una chiusura orizzontale; tuttavia, al fine di sigillare lateralmente il modulo, vengono installati dei componenti che tamponano le travi principali e scendono fino a coprire lo spazio vuoto che si forma fra la fondazione e il telaio. Questi elementi sono fondamentali per permettere, in seguito, il fissaggio del cappotto esterno offrendo una continuità con la parete soprastante; inoltre, impediscono l'ingresso di animali al di sotto della struttura dell'abitazione.

L'elemento è formato da un pannello in OSB di spessore 3 centimetri e di dimensioni 250 × 65 centimetri, al quale vengono fissati due listelli di sezione 5 × 10 centimetri e lunghezza pari a 210 centimetri, distanti fra loro 10 centimetri con della lana di roccia interposta. I listelli presentano una lunghezza inferiore rispetto al pannello di OSB proprio per lasciare lo spazio necessario ad alloggiare le travi principali che sbordano.

L'elemento è stato dimensionato con queste misure standard poiché consente l'installazione sia sul lato corto del modulo, sia sul lato lungo tramite l'affiancamento di più unità, permettendo così una produzione di massa di componenti sempre identici. I listelli di 5 × 10 centimetri sono posizionati 16 centimetri più in basso rispetto al filo superiore dell'OSB; in questo modo, al di sopra di essi si genera lo spazio necessario per accogliere l'estremità delle travi secondarie. L'elemento viene ancorato a queste ultime mediante viti, offrendo un riferimento geometrico immediato che facilita la posa in opera per gli operai (Fig. 04.03.133).

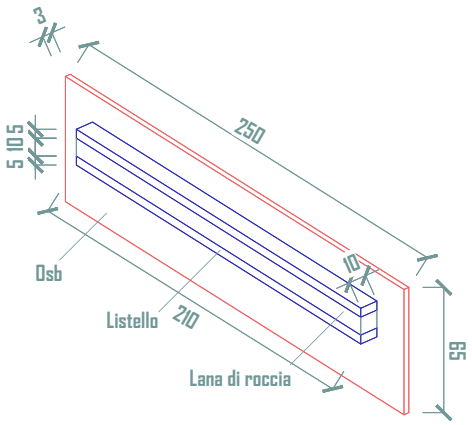


Fig. 04.03.133 - Assonometria dell'elemento di tamponamento del piano terra del telaio, con le relative specifiche, la posa è visibile nell'immagine precedente. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

3.3 L'elevazione verticale del telaio Dado

Seguendo il percorso di montaggio, passiamo alla chiusura verticale che ha il compito di separare gli ambienti con l'esterno. Come negli elementi precedenti, anche in questo caso i componenti possono essere realizzati in parallelo.

Prima di montare gli elementi di chiusura, è necessario completare il telaio del modulo atto a sostenerli. Vengono posizionati i pilastri grazie ai tagli presenti nell'OSB della pavimentazione, inserendo il dente negli stessi e nel varco generato fra le travi di bordo e le secondarie. Oltre ai quattro pilastri agli angoli, vengono aggiunti altri due pilastri sul lato lungo nel caso in cui il lato sia affacciato verso l'esterno; ciò per generare la stessa distanza presente fra i pilastri del lato corto, così da impiegare sempre il medesimo elemento Dado di chiusura verticale, riproducibile in serie (vedi paragrafi successivi).

Infine, si poggia sopra di essi il telaio orizzontale del solaio del piano superiore. In questo caso, trovandosi subito al di sotto della coper-

tura, non vengono installati tutti gli strati visti nel solaio del piano terra, o meglio degli strati da solaio di interpiano (Fig. 04.03.134).

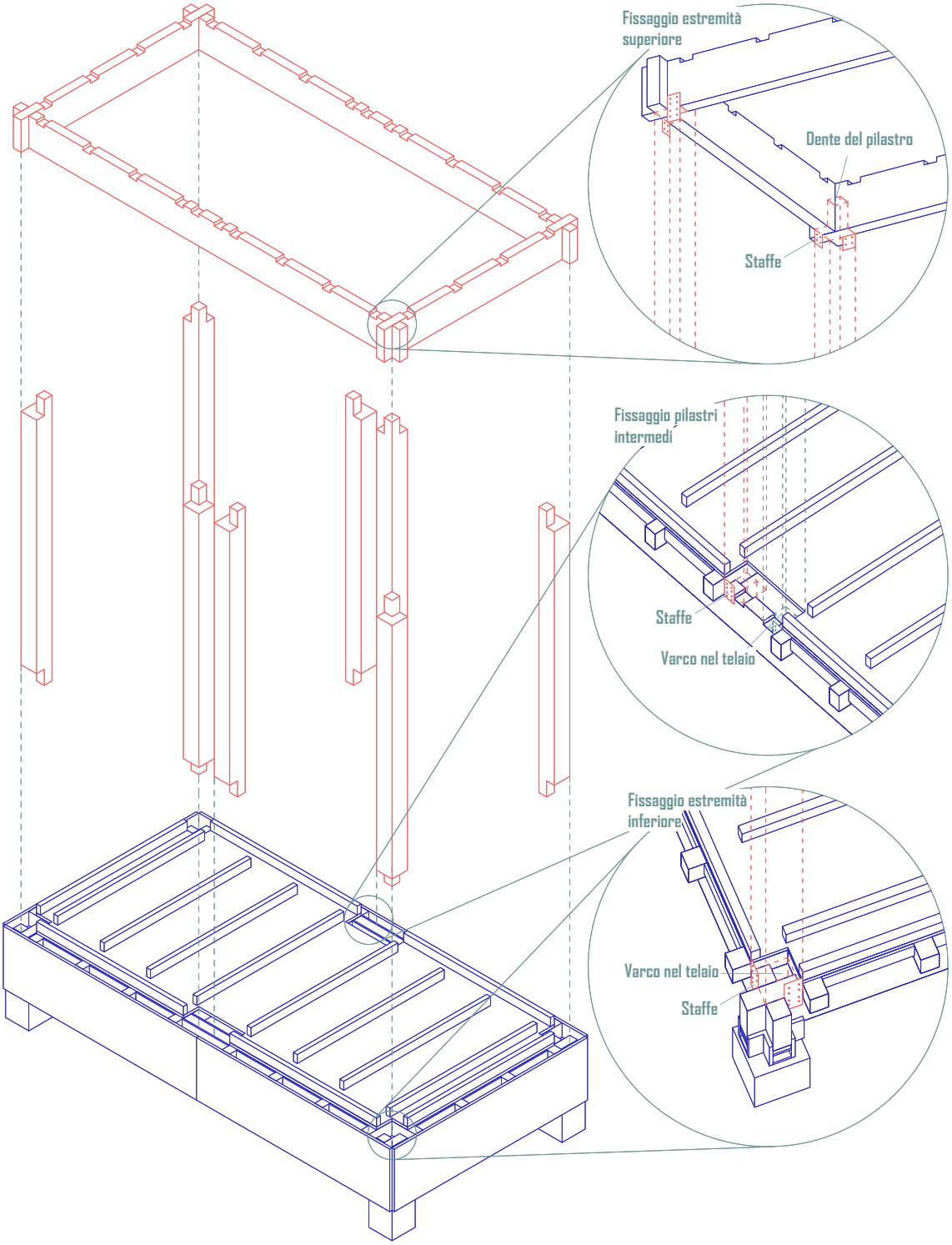


Fig. 04.03.134 - Assonometria con le strutture di elevazione del modulo Dado, in dettaglio il nodo pilastro - trave. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

3.4 La chiusura verticale Dado

Dopo aver completato l'elevazione verticale del telaio del modulo, è possibile installare gli elementi dei tamponamenti su di essa. Come per il solaio, anche per le pareti viene rispettato il principio secondo il quale le finiture e gli impianti vengono posati in loco. In stabilimento, infatti, vengono preparati i telai delle pareti mediante listelli di sezione 10 × 5 centimetri, la stessa impiegata in altre parti del modulo. L'adozione di poche sezioni semplifica enormemente la struttura uniformandola mediante l'impiego di elementi ricorrenti, permettendo rifornimenti in quantità del medesimo componente.

In generale, i listelli vengono uniti mediante viti realizzando principalmente telai di dimensioni standard, poi rivestiti su entrambi i lati da un pannello OSB di 15 millimetri di spessore, formando un sandwich. All'interno lo spazio si riempie con 10 centimetri di lana di roccia, contribuendo all'isolamento termico e acustico. Tutti gli elementi vengono fissati con viti di ancoraggio lungo il perimetro ogni 15 centimetri ai pilastri laterali e alle travi del piano successivo ed inferiore.

Tuttavia, per coprire ogni punto sono necessari diversi tipi di elementi standard:

- L'elemento parete da 200 centimetri, che chiude gran parte del modulo, è composto da un telaio con funzione portante di sezione 10 × 5 centimetri; i listelli distano fra loro 60 centimetri oppure in misura variabile nel caso in cui siano presenti infissi. Essi contengono la lana di roccia di spessore 10 centimetri, il tutto rivestito su entrambi i lati di OSB da 15 millimetri. Un dettaglio fondamentale si trova tra la lana di roccia e l'OSB del lato interno (lato caldo),

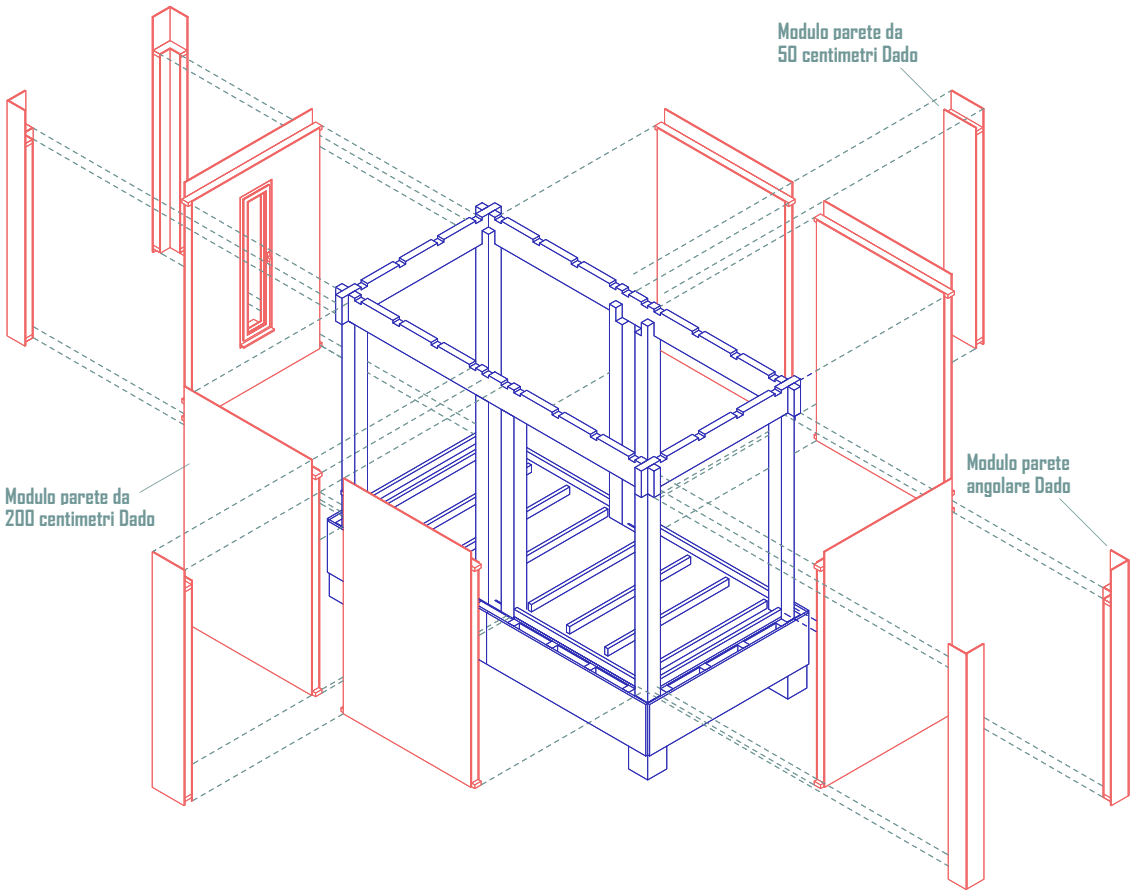


Fig. 04.03.135 - Assonometria con gli elementi dei tamponamenti verticali del modulo Dado. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

dove si applica una membrana freno vapore per fermare l'umidità ed evitare che condensi all'interno della stratigrafia (Fig. 04.03.136).

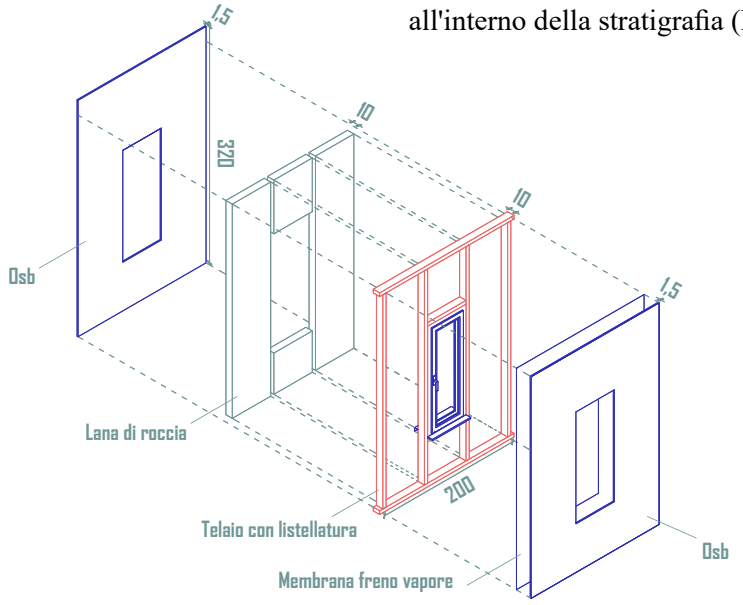


Fig. 04.03.136 - Assonometria dell'elemento parete da 200 centimetri Dado, con gli elementi che lo compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

L'elemento viene successivamente completato in loco, applicando i diversi strati di isolamento, impiantistici e di finitura. All'esterno, l'OSB viene rivestito con 5 centimetri di cappotto che riduce ogni ponte termico rimasto, per poi essere rifinito tramite una rasatura e una tinteggiatura, o qualsiasi altro rivestimento richiesto dall'utenza.

Dall'interno, invece, all'OSB viene avvitata un'orditura di profilati metallici a C che fungono da montanti verticali con una profondità di 5 centimetri. Questo accorgimento serve a offrire uno spazio tecnico per il passaggio degli impianti e, dove questi non sono presenti, il vuoto viene colmato con lana di roccia. Infine, la componente impiantistica viene occultata da uno strato di cartongesso, in seguito rasato e tinteggiato (Fig. 04.03.137).

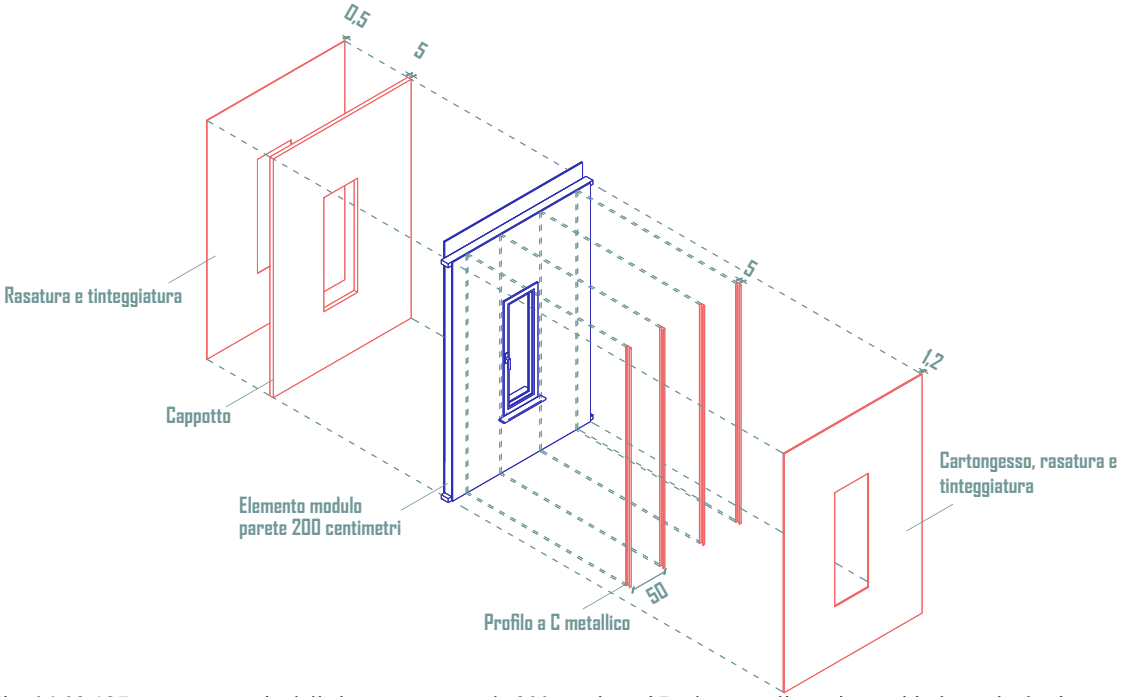


Fig. 04.03.137 - Assonometria dell'elemento parete da 200 centimetri Dado, con gli strati posati in loco che lo rivestono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

La parete Dado dal punto di vista termico è costituita da 5 centimetri di sughero espanso, 10 centimetri di lana di roccia e 5 centimetri ausiliari di lana di roccia nel vano impianti. L'intero isolamento, escludendo i piccoli contributi dati dagli strati OSB, garantisce una trasmittanza termica U di 0,168 W/m²K, al di sopra dei requisiti minimi italiani[166].

Inoltre, l'importante spessore raggiunto dalla lana di roccia contribuisce al miglioramento dell'isolamento acustico della parete sfruttando il principio massa-molla-massa, offerto dal doppio strato di OSB e dall'isolamento.

Il materiale impiegato per la listellatura è il legno KVH; esso è un legno massiccio di abete che subisce un trattamento di essiccazione atto a rimuovere gran parte dell'umidità interna. In questo modo, una volta montato, il materiale non subisce drastici ritiri o alterazioni, rimanendo in posizione.

La struttura in legno presenta una leggerezza rilevante e visibile in seguito durante le operazioni di posa, portando l'elemento modulare da 200 centimetri (esclusi i vari altri strati applicati in loco) a 208 chilogrammi, ovvero 32,5 chilogrammi al metro quadro. Per fare un confronto, una tradizionale parete in muratura ha un peso di circa 200 chilogrammi al metro quadro.

Dal punto di vista della resistenza al fuoco, il cartongesso contribuisce alla protezione passiva dal fuoco della stratigrafia, mentre la lana di roccia, essendo un materiale incombustibile, contribuisce alla resistenza al fuoco dell'insieme.

Sul piano sismico e strutturale, la parete non ha solo la funzione di chiusura ma anche di controventamento; infatti, le pareti in OSB, opportunamente collegate al telaio, possono contribuire al controventamento del sistema e alla trasmissione delle azioni orizzontali dovute al vento e al sisma, previa specifica verifica strutturale.

- L'elemento parete da 50 centimetri, posto fra le pareti da 2 metri, viene inserito solamente sul lato lungo da 5 metri del modulo, esattamente al centro di esso, e viene ancorato come per il modulo parete mediante viti.

Le stratigrafie dell'elemento sono le medesime presenti nell'elemento parete (Fig. 04.03.138):

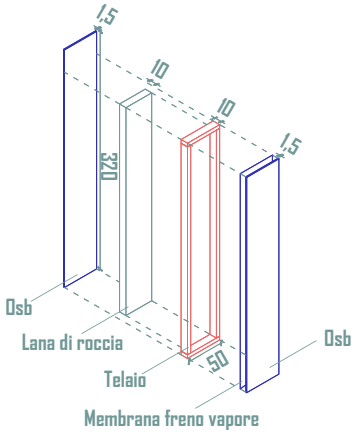


Fig. 04.03.138 - Assonometria dell'elemento parete da 50 centimetri Dado con gli elementi che lo compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Anche gli strati di rivestimento dello stesso per le finiture esterne e interne riprendono esattamente le soluzioni dell'elemento parete, così da garantire la continuità delle proprietà e delle prestazioni in ogni punto (Fig. 04.03.139):

L'utilità dell'elemento è quella di colmare lo spazio vuoto generato dai due elementi parete posti lateralmente; la scelta di dividere la parete in più parti è stata guidata dalla volontà di non realizzare componenti troppo ingombranti, pesanti e di conseguenza difficili da movimentare in cantiere. Inoltre, un'unica parete sandwich da 5 metri, con uno spessore del solo nucleo strutturale di 13 centimetri, se maggiorata del carico degli infissi sarebbe risultata maggiormente soggetta a deformazioni fuori piano e fenomeni di instabilità durante la movimentazione.

- L'elemento di parete d'angolo, posizionato agli angoli del modulo, ha lo scopo di chiudere

[166] D.M. 26 giugno 2015 (cd. "Decreto Requisiti Minimi").

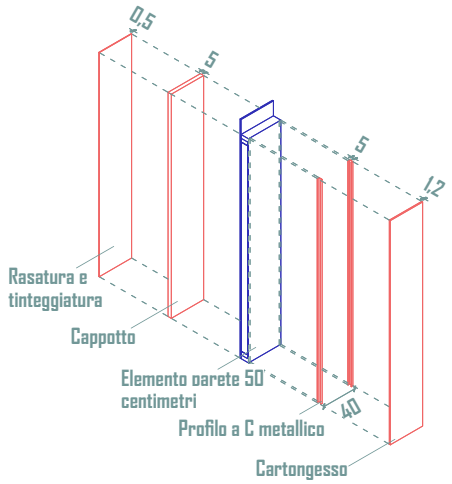


Fig. 04.03.139 - Assonometria dell'elemento parete da 50 centimetri Dado, con gli strati posati in loco che lo rivestono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

gli spigoli rimasti scoperti in seguito alla posa di tutti gli elementi parete. Esso è quindi l'ultimo elemento della partizione verticale di chiusura a essere posato e, come nei casi precedenti, i fissaggi vengono realizzati mediante viti ancorate alle strutture retrostanti. L'elemento è molto differente geometricamente rispetto ai precedenti componenti, ma mantiene inalterata la struttura del pannello sandwich (Fig. 04.03.140):

L'unica variazione riguarda le finiture interne, in quanto non vengono previsti l'orditura metallica per gli impianti e il cartongesso, dato che l'elemento si trova a contatto diretto con il pilastro d'angolo del modulo (Fig. 04.03.141).

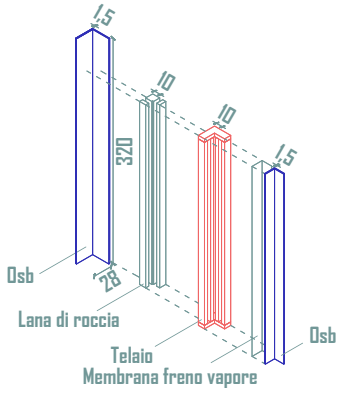


Fig. 04.03.140 - Assonometria dell'elemento parete angolare Dado, con le parti che lo compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

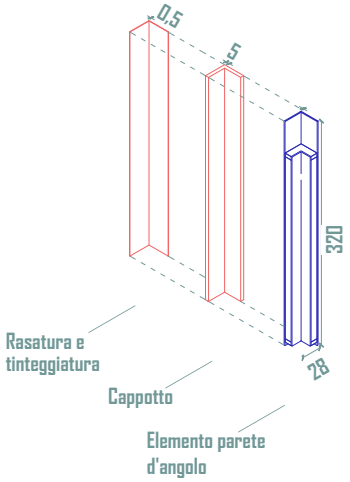


Fig. 04.03.141 - Assonometria dell'elemento parete angolare Dado, con gli strati posati in loco che lo rivestono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

3.5 La partizione interna Dado

Come descritto per l'elemento parete, viene aggiunto uno strato dal lato interno di profilati a C metallici con sezione da 5 centimetri per contenere gli impianti, poi rivestiti da una lastra in cartongesso.

La stessa filosofia viene adottata per le partizioni interne, realizzate con profilati a C metallici da 7,5 centimetri e una lastra di cartongesso con spessore di 12 millimetri per ciascun lato. All'interno vi è la possibilità di inserire le reti tecnologiche; in questo modo, sia il pavimento che le pareti perimetrali e quelle divisorie risultano muniti di un vano impianti, rendendo enormemente flessibile il posizionamento di tubazioni o cavi elettrici. Dove non vi sono impianti, lo spazio vuoto viene colmato mediante lana di roccia, così da isolare acusticamente le stanze sfruttando il principio massa-molla-massa.

I profilati vengono fissati a terra sull'OSB da 15 millimetri (posato sopra la listellatura da 10 × 5 centimetri) dopo aver posizionato gli impianti a pavimento fra di essi. Mentre lateralmente la tramezza viene fissata ai pilastri da 20 × 20 centimetri, al di sopra è preferibile sfruttare le

travi principali, le quali sono ribassate rispetto al resto e offrono un supporto lineare continuo, evitando tutti i ritagli e le complicazioni dovute alla sporgenza delle secondarie (Fig. 04.03.142).

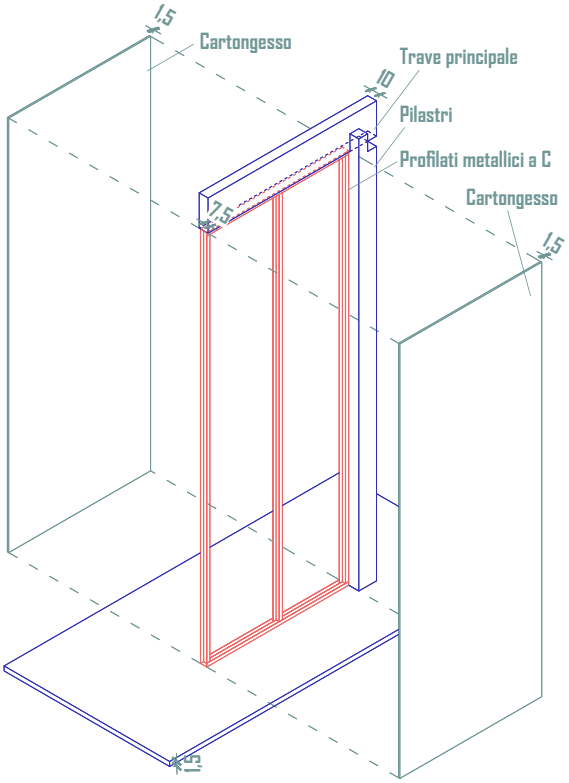


Fig. 04.03.142 - Assonometria della tramezza Dado, con gli opportuni punti di ancoraggio. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

3.6 L'elevazione del telaio della chiusura superiore Dado

Prima di installare tutti i tamponamenti è necessario terminare il telaio fino alla copertura, questo permette di coprire il prima possibile le strutture, rendendo in brevissimo tempo tutta l'area di lavoro protetta, scongiurando il rischio del sopravvento di condizioni atmosferiche avverse. L'attenzione nei confronti del clima è fondamentale per offrire agli operai un luogo di lavoro confortevole e riparato, impedendo al contempo che le strutture rimangano esposte con il rischio di eventuali danneggiamenti.

Il telaio della copertura riprende i principi del modulo Dado, in cui gli elementi sono posizionati grazie a incastri dado joint, ma in alcuni casi sono inclinati al fine di adattare gli elementi alle pendenze delle falde e alle relative forze. Il telaio del modulo viene mantenuto in posizione e sopra di esso, sfruttando i già presenti incastri, si posano nuove parti:

- Gli elementi ad H: presentano una sezione trasversale di 20 × 10 centimetri e un'altezza variabile in base alla pendenza della falda. Essi prendono il nome dalla loro caratteristica conformazione geometrica: presentano infatti un intaglio centrale profondo 5 centimetri e largo 10 centimetri ad entrambe le estremità. Questa lavorazione rimuove il materiale al centro lasciando intatti due denti laterali da 5 centimetri di spessore, conferendo all'elemento una sagoma a "H". Tale configurazione ha lo scopo di far aderire perfettamente il componente nei dado joint della trave principale orizzontale a un'estremità, mentre l'estremità opposta accoglie a forcella la trave principale inclinata della copertura. Questi elementi riducono efficacemente la luce della trave inclinata che poggia su di essi, trasferendo il carico in compressione verticale alla trave sottostante. Per garantire il mantenimento della posizione, essi vengono affiancati da elementi sandwich denominati "a cassetto" posti fra le travi principali e fissati con viti.

- Gli elementi a cuneo: sono elementi molto particolari, piccoli ma estremamente indispensabili. Si tratta dell'unico componente ad essere interamente in acciaio; si prevede infatti la loro produzione mediante estrusione con una matrice di forma trapezoidale, con una base maggiore di 10 centimetri, un'altezza di 10 centimetri e una base minore che si attesta a 3,5 centimetri. Un taglio di questa estrusione eseguito ogni 10 centimetri permette di realizzare l'elemento evitando complicate saldature fra piastre, oltre a garantire una tenuta agli sforzi costante. Que-

sto elemento è in metallo perché subisce principalmente sforzi di taglio, bloccando in corrispondenza della sua estremità lo scorrimento della trave principale inclinata adagiata su di esso. Un elemento in legno, anche se lamellare, avrebbe ceduto a causa dell'elevata concentrazione degli sforzi. L'elemento viene mantenuto in posizione mediante staffe metalliche e viti poste su entrambi i lati.

- La trave principale: di dimensioni 32 × 10 centimetri e di lunghezza variabile in base alle necessità, viene posta assieme alle secondarie e ai coprifili sopra i precedenti elementi, per poi essere fissata mediante viti e staffe. Come accennato, gli elementi ad H trasferiscono il carico verticalmente e i cunei bloccano lo scorrimento, conducendo le forze alla trave principale orizzontale sottostante. Una volta serrati i componenti, assieme alla trave principale orizzontale diventano similari ad una capriata. La filosofia di progetto, quindi, è stata di nuovo quella di reimpiegare i medesimi elementi riassegnandoli a un diverso sistema strutturale. Il dimensionamento di questa trave si è fermato a un calcolo di massima, pari a un quindicesimo della luce (L / 15) e, date le luci contenute a un massimo di 3 metri, è necessaria un'altezza minima di 20 centimetri. Anche in questo caso, però, andavano realizzati i dado joint per le travi secondarie con profondità di 3,5 centimetri, motivo per cui è stata scelta una sezione strutturale di 32 centimetri di altezza per avere un margine di sicurezza. Sull'estradosso vengono, quindi eseguiti, a distanza di 50 centimetri (come per le travi orizzontali) i dado joint per ospitare le secondarie, ripetendo lo schema del solaio. Nell'intradosso, invece, vengono eseguiti degli intagli in corrispondenza degli elementi ad H per realizzare la loro sede e, infine, all'estremità viene generata la sede per il cuneo d'acciaio. Vengono inoltre adattate le facce di estremità in base all'inclinazione della falda.

- Gli elementi trave secondaria: sono gli stessi elementi impiegati per il solaio orizzontale; lo sforzo nel riuscire a impiegare la medesima sezione ha l'unico scopo di agevolare la produzione di massa e i rifornimenti del medesimo elemento, oltre a garantire un facile reimpiego a fine vita dello stesso assolvendo a più funzioni. Il fissaggio anche in questo caso viene completato con una vite all'estremità.

- I coprifili: che erano presenti nel solaio orizzontale per chiudere l'apertura generata dalla secondaria in elevazione rispetto all'estradosso della principale, in questo caso assolvono la stessa funzione con i medesimi dimensionamenti, ma questa volta si adattano semplicemente all'inclinazione della falda. Il fissaggio viene completato da una vite.

- Il telaio della copertura ha anch'esso la potenzialità di essere standardizzato individuando inclinazioni ricorrenti, come 30 o 45 gradi; tuttavia, se si punta a una standardizzazione massima si potrebbero generare limitazioni sulle soluzioni architettoniche. I moduli godono della versatilità di poter essere affiancati in ogni posizione senza nessun vincolo particolare, mentre la copertura presenta il vincolo strutturale della direzione delle falde, le quali devono sempre essere rivolte verso l'esterno per far confluire le acque meteoriche al di fuori del perimetro dell'abitazione. Per sopperire a questo vincolo funzionale, la varietà delle inclinazioni degli elementi è cruciale: sono necessarie infatti molteplici combinazioni standard con un'ampia varietà di pendenze e di forme. La nota positiva è che il sistema Dado è un sistema aperto e, come per gli elementi ora progettati, possono essere ideate altre varianti che si adattano al sistema già esistente, e questo vale anche per la copertura (Fig. 04.03.143).

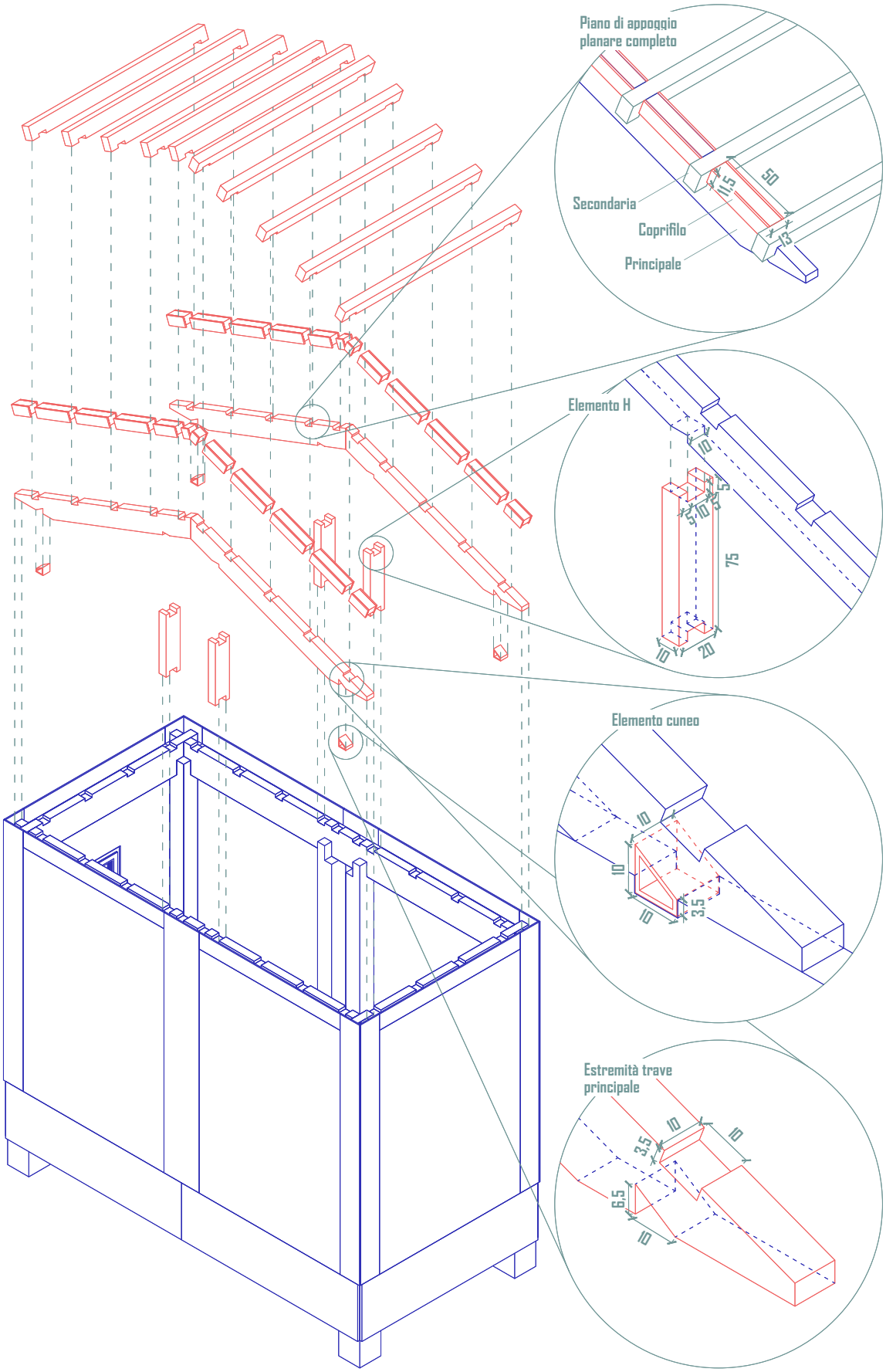


Fig. 04.03.143 - Assonometria della elevazione del telaio della chiusura superiore Dado, in dettaglio le specifiche degli elementi che la compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

3.7 La chiusura superiore Dado

Il montaggio del telaio prepara il terreno per la fase successiva, ovvero la posa degli elementi di tamponamento atti a chiudere la copertura.

L'attenzione nel predisporre un supporto liscio sottostante, senza interruzioni sul piano, ha il vantaggio di semplificare la posa dei pannelli sandwich, adagiati sopra e fissati mediante viti. La stratigrafia del pannello riprende i tamponamenti adottati per l'elemento parete, solo con differenze di spessore. Il primo strato dal lato interno è il perlinato spesso 1 centimetro con colore scelto dalla committenza; in seguito si trova l'OSB da 15 millimetri, la membrana freno vapore (utile per bloccare il passaggio del vapore ed evitare la formazione di condensa nei punti freddi della stratigrafia), una listellatura di sezione 20 × 5 centimetri alternata a 20 centimetri di lana di roccia, nuovamente l'OSB che chiude il pacchetto ed infine una listellatura verticale di sezione 6 x 5 che fungerà da canali di ventilazione della copertura (Fig. 04.03.144).

Questi strati sono organizzati all'interno di pannelli di tamponamento modulari, larghi 100 centimetri (le linee tratteggiate ne evidenziano uno) e lunghi quanto la falda stessa, tagliati di misura, dato che la composizione del pannello rimane costante in tutta la sua lunghezza. Essi vengono affiancati e incastrati grazie al dente generato dal prolungamento dell'OSB di 2,5 centimetri da un lato e dall'arretramento dall'altro. Al di sopra, si installa sul posto un'ulteriore orditura con sezione 4 × 4 centimetri in direzione orizzontale (Fig. 04.03.145). La doppia orditura permette di predisporre dei canali dove l'aria può circolare, in particolare in linea con l'orditura di sezione 6 × 5 centimetri dato che segue la pendenza del tetto; l'aria calda, infatti, tende ad andare verso l'alto e, grazie

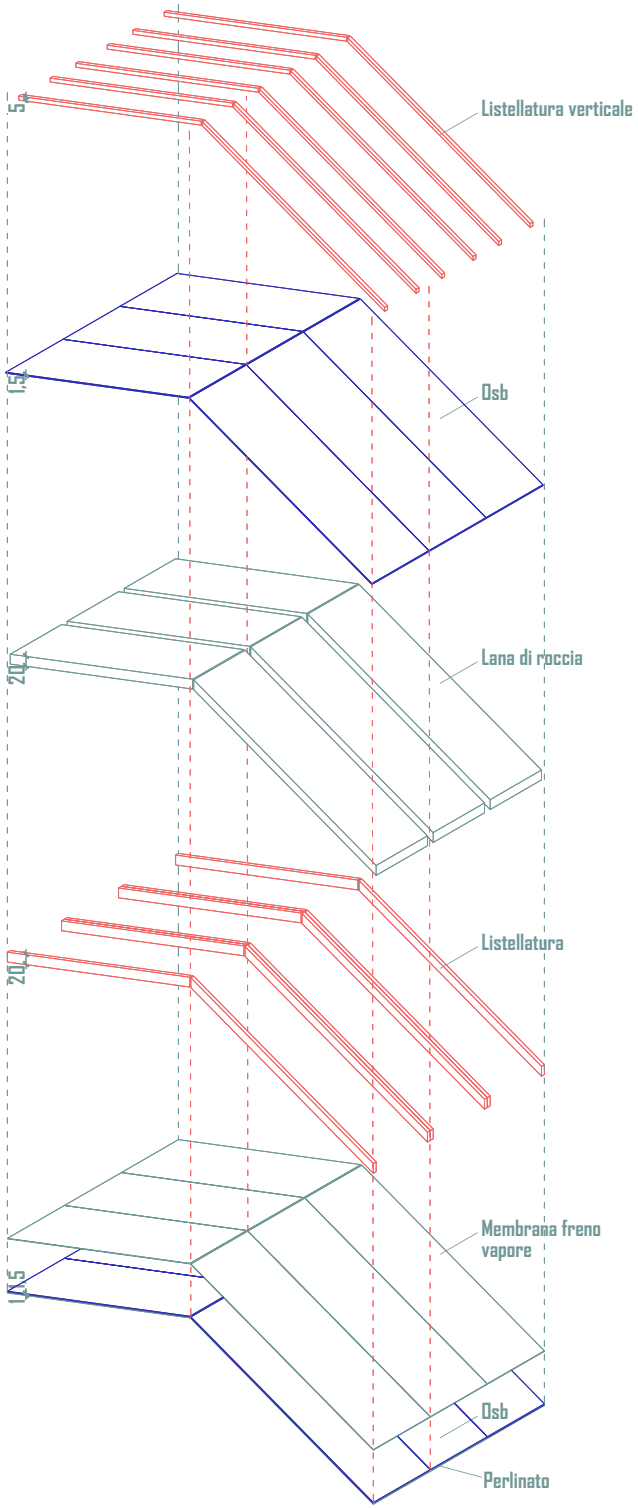


Fig. 04.03.144 - Assonometria dell'elemento sandwich della chiusura superiore Dado, in dettaglio le specifiche degli strati che lo compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

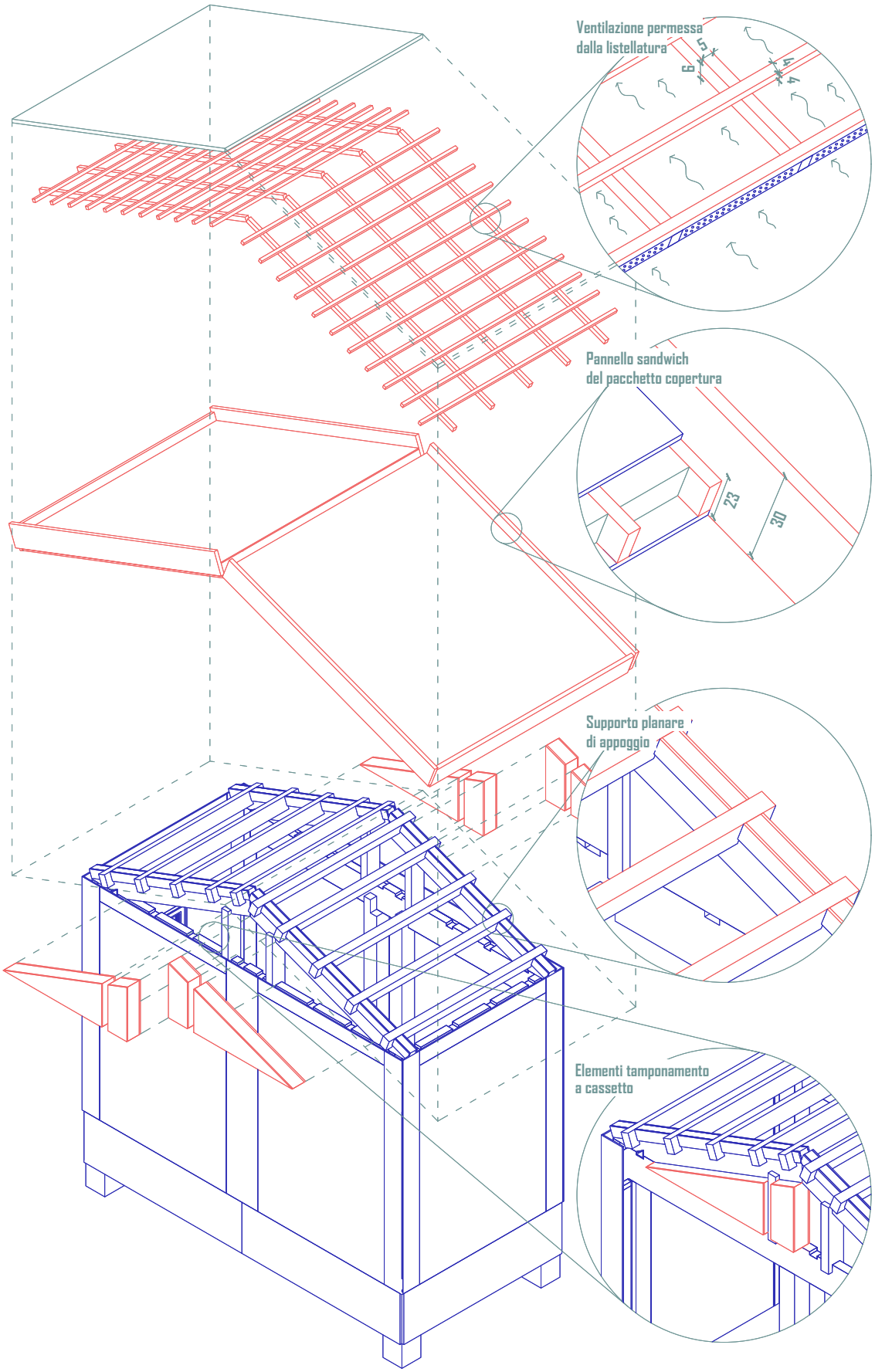


Fig. 04.03.145 - Assonometria dei tamponamenti della chiusura superiore Dado, in dettaglio le specifiche degli elementi che la compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

al suo spostamento, raffredda il manto successivo evitando che la copertura si surriscaldi.

Sopra i listelli più piccoli viene infine ancorata la finitura di rivestimento richiesta dal cliente, che può essere in coppi o in pannelli di lamiera.

Completata la chiusura della falda, rimangono però ancora scoperte le pareti laterali verticali attigue alla copertura. Al fine di completare il tamponamento, si rende necessario l'impiego di un nuovo elemento: i cassetti. Essi sono denominati in questo modo perché si infilano proprio come dei cassetti all'interno del varco generatosi fra la trave orizzontale principale e le travi inclinate della copertura, visibili nello schema precedente. In realtà, i cassetti non sono altro che dei sandwich particolari, non caratterizzati da una forma standard parallelepipeda, ma sagomati per adattarsi alla dimensione della tasca in cui vengono inseriti.

Dal lato interno, il componente presenta uno strato di finitura in perline spesso 1 centimetro, uno strato di OSB da 1,5 centimetri, uno strato di freno vapore, un telaio ligneo di sezione 20x10 centimetri riempito da lana di roccia oppure eventualmente dal telaio di un infisso. In totale il pacchetto raggiunge lo spessore di 22,5 centimetri; ma al fine di chiudere la facciata e ad uniformarla si aggiunge un ultimo strato di OSB da 3 centimetri, che ricopre tutti i cassetti della facciata dall'esterno, così da realizzare il piano d'appoggio per il successivo alloggiamento del cappotto da 5 centimetri e della relativa rasatura (Fig. 04.03.146).

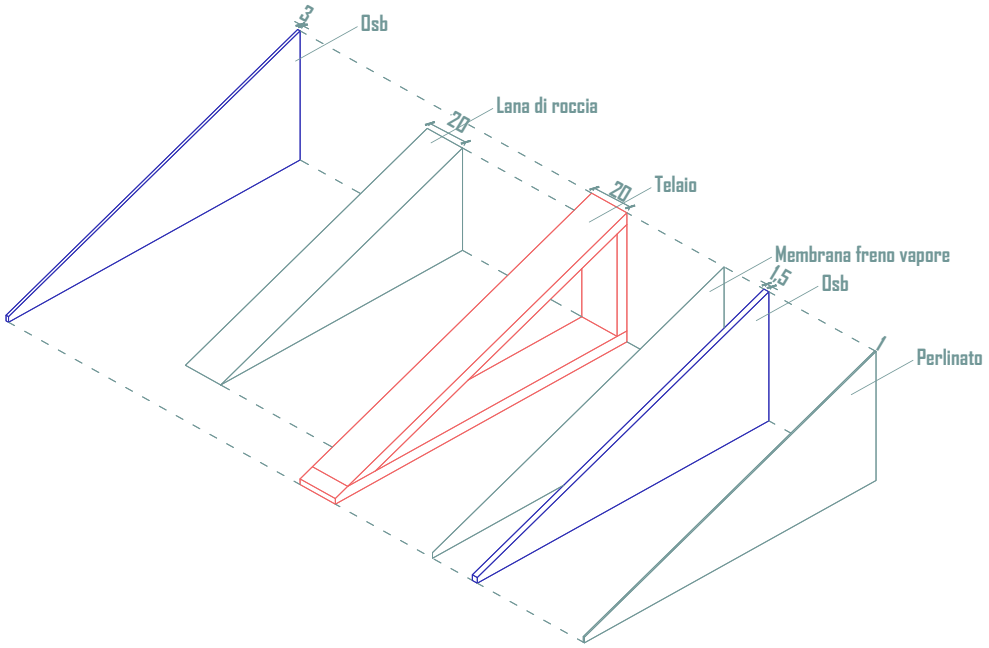


Fig. 04.03.146 - Assonometria dell'elemento cassetto Dado, in dettaglio le specifiche degli strati che lo compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Come accennato, per completare il modulo grezzo vengono fissati dei pannelli interi in OSB di spessore 30 millimetri, tagliati a CNC, che rivestono i cassetti, coprendo anche le estremità delle secondarie e arrivando fino a filo del perlinato del sandwich della copertura. Questo elemento ha il fine di realizzare un piano continuo sulla superficie esterna, coprendo le disomogeneità geometriche degli elementi ad H, delle travi e dei cassetti, rivestendoli in modo tale da poter in seguito realizzare le finiture del cappotto. L'ancoraggio viene effettuato tramite viti posizionate sul perimetro del pannello e centralmente, ove necessario (Fig. 04.03.147).

3.8 I ponti termici e le finiture esterne

Il modulo Dado con copertura è ormai giunto alla fase di completamento; restano da posare unicamente gli strati di isolamento e di finitura superficiale. Nello specifico, viene installato in loco un sistema di isolamento termico a cappotto ancorato meccanicamente a secco in sughero espanso spesso 5 centimetri. Questo strato continuo riduce i ponti termici rimasti, generati inevitabilmente dalla disomogeneità geometrica del telaio strutturale (come in corrispondenza dei pilastri d'angolo in legno o dei nodi di giunzione tra i moduli), dove l'isolamento in lana di roccia subisce interruzioni o

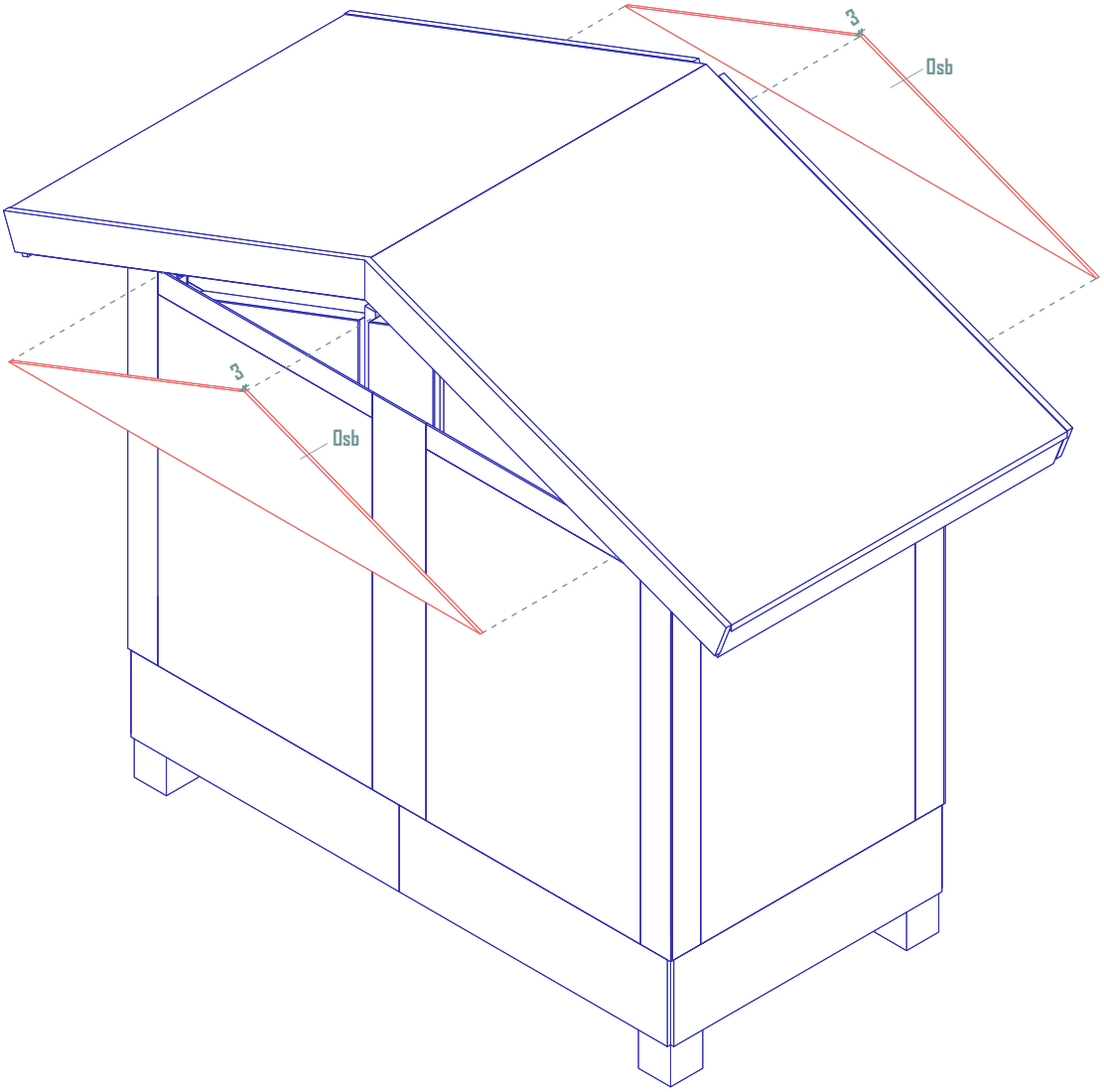


Fig. 04.03.147 - Assonometria modulo Dado con copertura quasi ultimato, mancante è il fissaggio dell'OSB. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

riduzioni di spessore, e anche soprattutto fra i microspazi presenti fra gli elementi del sistema costruttivo. Infatti gli elementi precedentemente citati anche nelle loro misure, subiranno dal punto di vista dimensionale delle riduzioni di pochi millimetri per parte, altrimenti risulterebbe impossibile il loro montaggio. Queste aperture lineari vengono interrotte sia dal cappotto che dalla controparete realizzata in loco che ospita gli impianti (vedi paragrafi successivi).

Il cappotto viene realizzato in loco anche per evitare crepe o rotture durante la posa degli elementi; il materiale impiegato è il sughero espanso che presenta una conducibilità termica pari a 0,80 (W/m²K), il quale viene vincolato all'OSB strutturale mediante l'esclusivo utilizzo di viti da legno per isolamento da 80 mm di lunghezza, installate con una densità per metro molto importante (circa 10 per metro quadro). Sullo strato isolante viene eseguita una doppia rasatura con all'interno una rete in fibra di vetro raggiungendo uno spessore di 3-4 millimetri. Infine una mano di fissativo permette alla tinteggiatura di fare presa, essa viene scelta rispettando le richieste della committenza (Fig. 04.03.148).

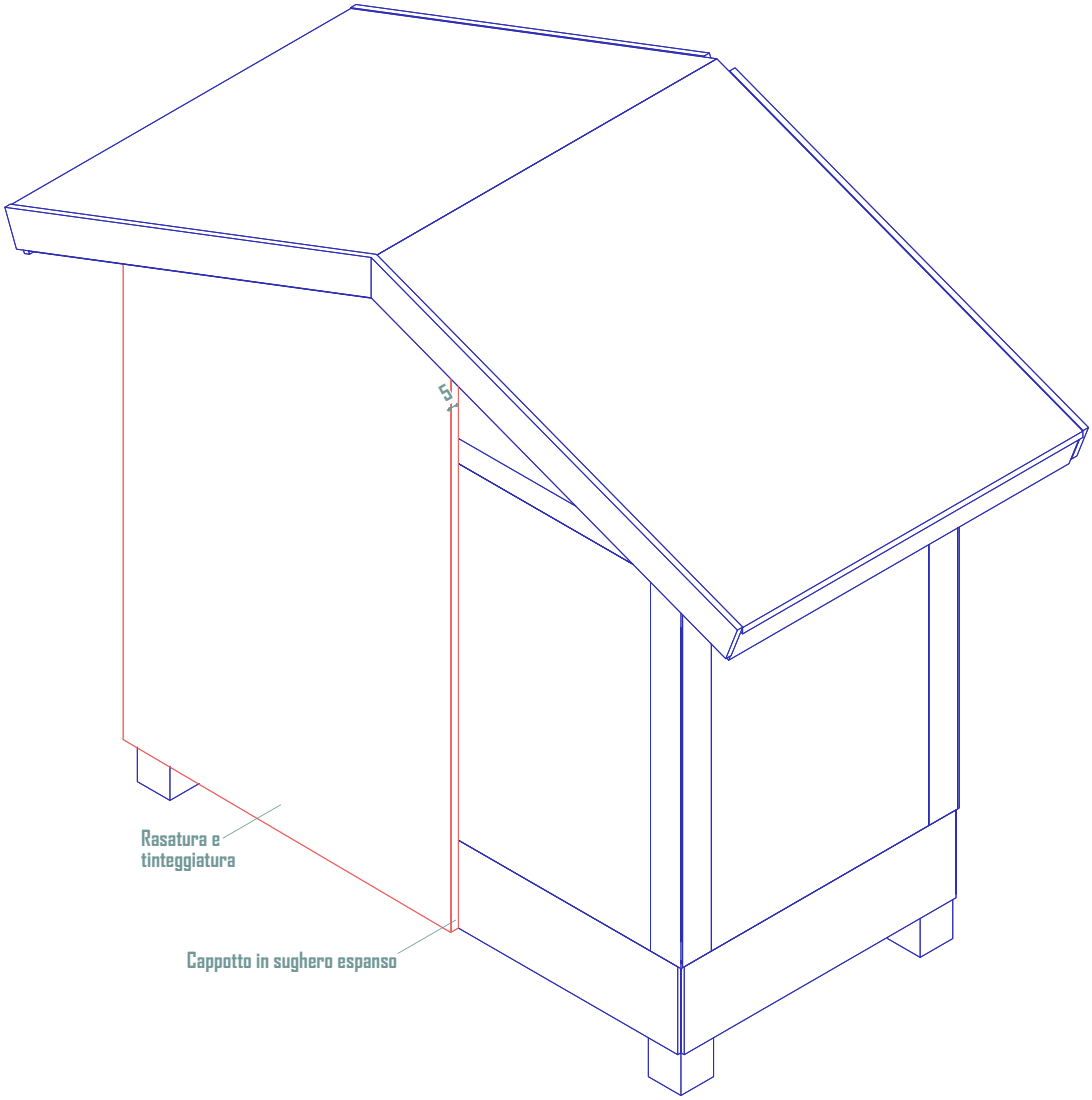


Fig. 04.03.148 - Assonometria del modulo Dado grezzo completato, mancanti sono cappotto e finiture. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

3.9 Le finiture interne e la gestione degli impianti

In seguito alla posa dei moduli completi dei tamponamenti è possibile eseguire le lavorazioni di finitura esterna e interna nello stesso momento, dato che non si creano interferenze operative.

L'interno del modulo, agli occhi degli operai, si presenta spoglio dei rivestimenti: l'OSB dei muri sandwich è a vista dall'interno, sul soffitto rimane a vista il perlinato, mentre della pavimentazione è visibile la superficie dell'OSB da 15 millimetri. Come accennato, la parete da 200 centimetri viene completata internamente da una controparete di spessore pari a 5 centimetri, che anch'essa potrà ospitare le tubazioni. Gli operai iniziano quindi a disporre i profilati a C metallici, lunghi 250 centimetri, calcolando l'altezza che sarà occupata a terra dalle altre stratigrafie che verranno successivamente posate.

Le operazioni proseguono con la rimozione dell'OSB a terra. Quest'ultimo non è fissato in maniera definitiva, ma mediante poche viti che permettono di rimuoverlo temporaneamente. Una volta rimosso, viene scoperto il livello dedicato alla sistemazione impiantistica del pavimento, caratterizzato da una listellatura di sezione 10 × 5 centimetri. A questo punto può iniziare la disposizione delle tubazioni, sia sul piano orizzontale sia in verticale. Dall'immagine in basso è possibile apprezzare la configurazione del modulo dal punto di vista degli operai durante i lavori in questo specifico frangente (Fig. 04.03.149).

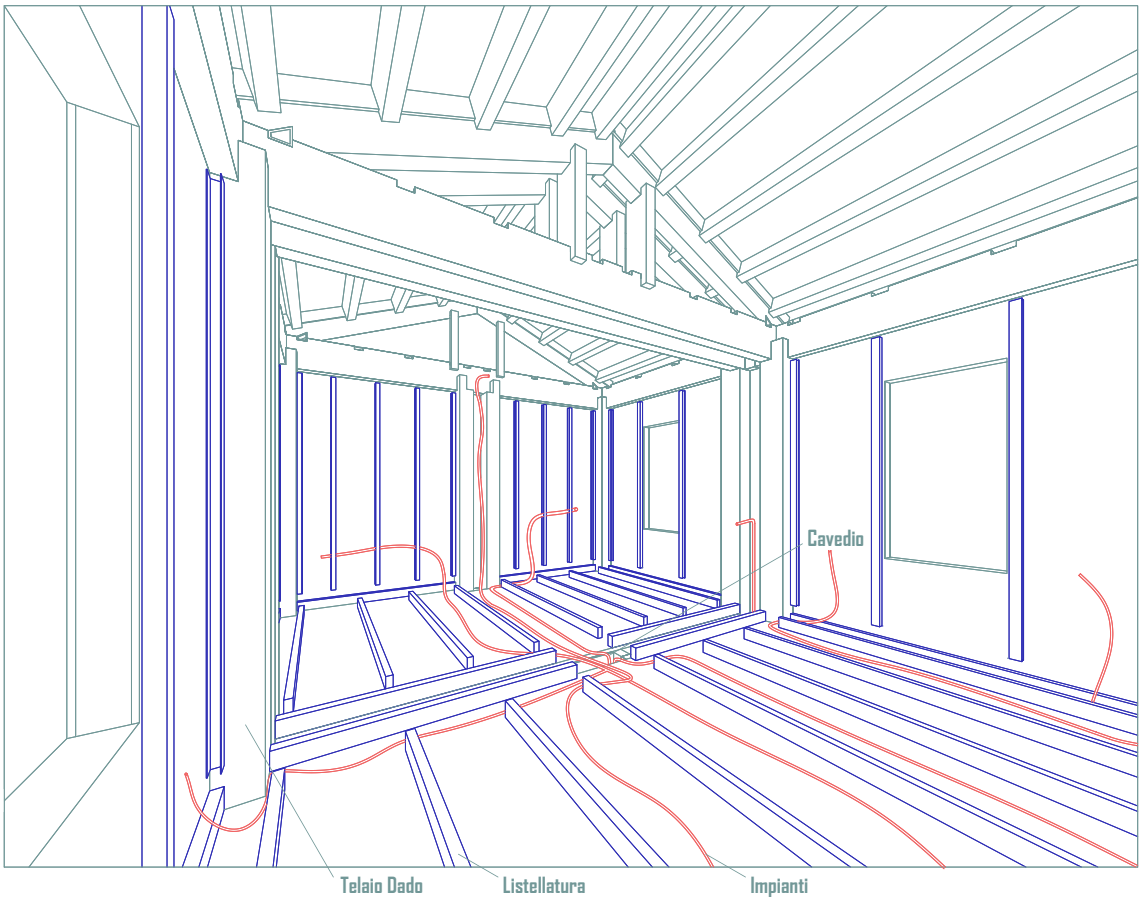


Fig. 04.03.149 - Vista prospettica degli operai mentre osservano gli interni di due moduli affiancati completi di strutture e tamponamenti, prima della posa delle finiture; subito dopo la rimozione dell'osb superficiale sono evidenti gli alloggiamenti impiantistici. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

La listellatura è disposta in modo strategico per poter ospitare gli impianti nella disposizione desiderata, raggiungendo ogni punto e offrendo un'elevata flessibilità nella collocazione delle prese elettriche e idriche, in base alle preferenze della committenza. La soluzione adottata prevede dei listelli perimetrali e una listellatura parallela che segue la disposizione sottostante delle secondarie, così da ripartire il carico direttamente su di esse. La particolarità, però, è che la fila centrale dei listelli paralleli non rimane a contatto diretto con la listellatura perimetrale, ma presenta un distacco di 15 centimetri, sufficiente al passaggio di molte tubazioni idriche o elettriche (Fig. 04.03.150).

Dall'immagine precedente è visibile al centro il fatto che gli impianti passino in corrispondenza della mezzeria della stanza; questo non è casuale. Infatti, tra ogni solaio, il distacco generato dalle estremità delle travi che sporgono di 10 centimetri, affiancandosi, crea un distacco effettivo di 20 centimetri. Questa distanza, sommata al passo delle travi stesse, va a comporre dei varchi nel pavimento di almeno 20 × 50 centimetri, utilissimi per far scendere gli impianti ai piani sottostanti o, nel caso del piano terra, per mettere in collegamento il livello della pavimentazione con la fondazione.

È quindi possibile realizzare dei veri e propri cavedi, se necessario, semplicemente erigendo delle pareti tramezze interne sui due lati del varco fra i moduli, in corrispondenza del telaio principale. Questa operazione viene eseguita dopo aver riposizionato e fissato l'OSB, che ricopre gli impianti sottostanti (Fig. 04.03.151).

Inoltre, è possibile notare come, quando più moduli sono affiancati, questo distacco si manifesti anche su tutti i lati di contatto, garantendo la possibilità di posizionare i cavedi in qualsiasi punto desiderato lungo il perimetro del modulo. Il vano, essendo largo 20 centimetri, può ospitare comodamente anche una colonna di scarico delle acque nere, avente un diametro di 10 centimetri, risultando quindi fondamentale anche per la collocazione dei bagni all'interno della pianta.

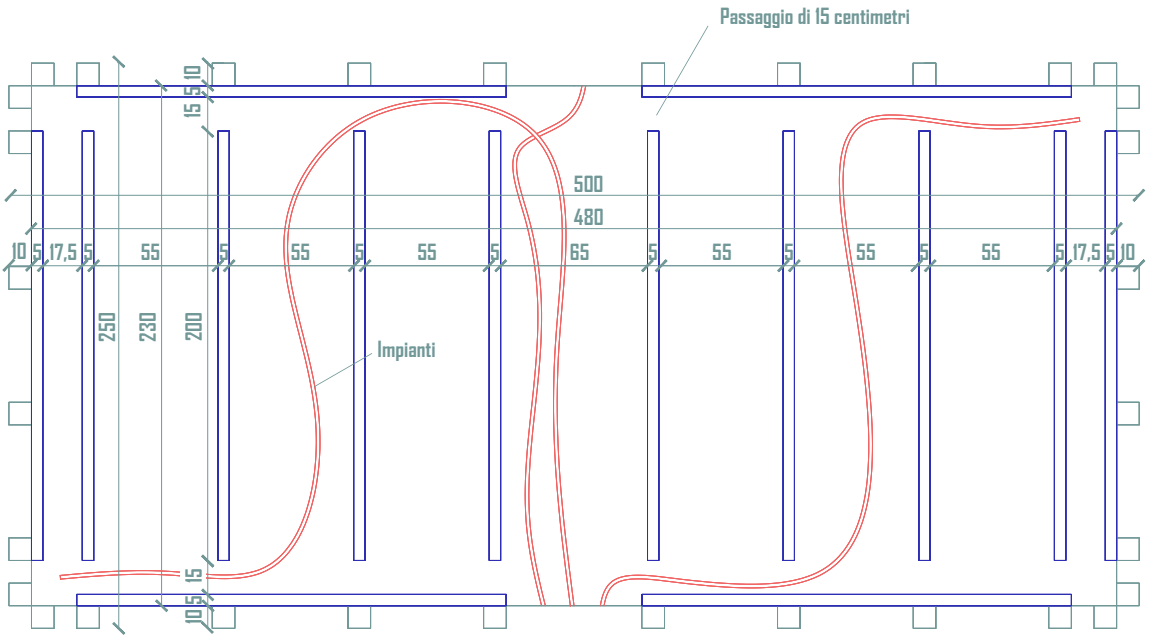


Fig. 04.03.150 - Pianta del solaio come si presenta subito dopo la sua posa e rimozione dello strato di osb superficiale; è apprezzabile la distribuzione strategica della listellatura nel vano impianti. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

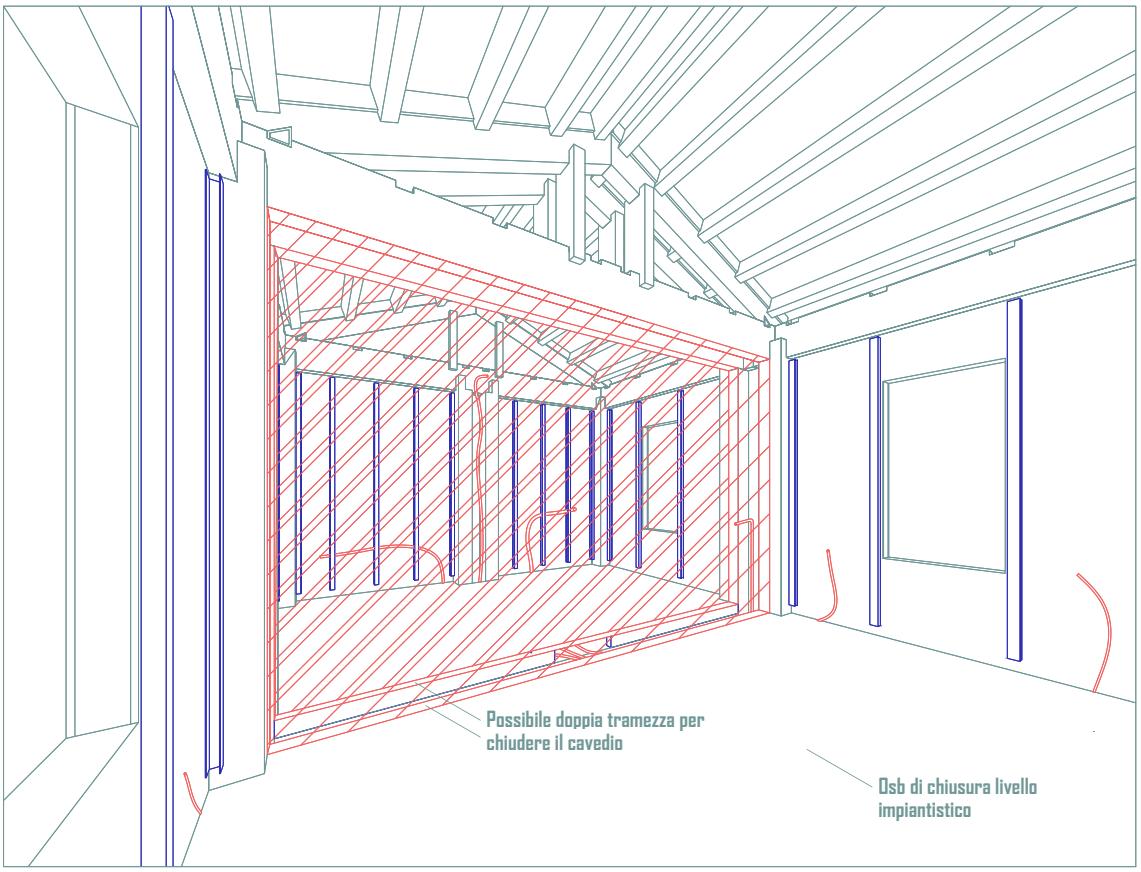


Fig. 04.03.151 - Vista prospettica degli operai mentre osservano la disposizione delle tramezze per realizzare un cavedio al centro, fissandole all'osb posato dopo l'installazione delle tubazioni. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Chiaramente, non è obbligatorio realizzare un cavedio che copra l'intera lunghezza del modulo: è possibile interromperlo prima e realizzarlo quindi di dimensioni ridotte. Le strisce rimaste scoperte dall'OSB vengono successivamente chiuse mediante un elemento costituito da una striscia larga 20 centimetri e realizzata con la medesima stratigrafia del pacchetto che la circonda (Fig. 04.03.152).

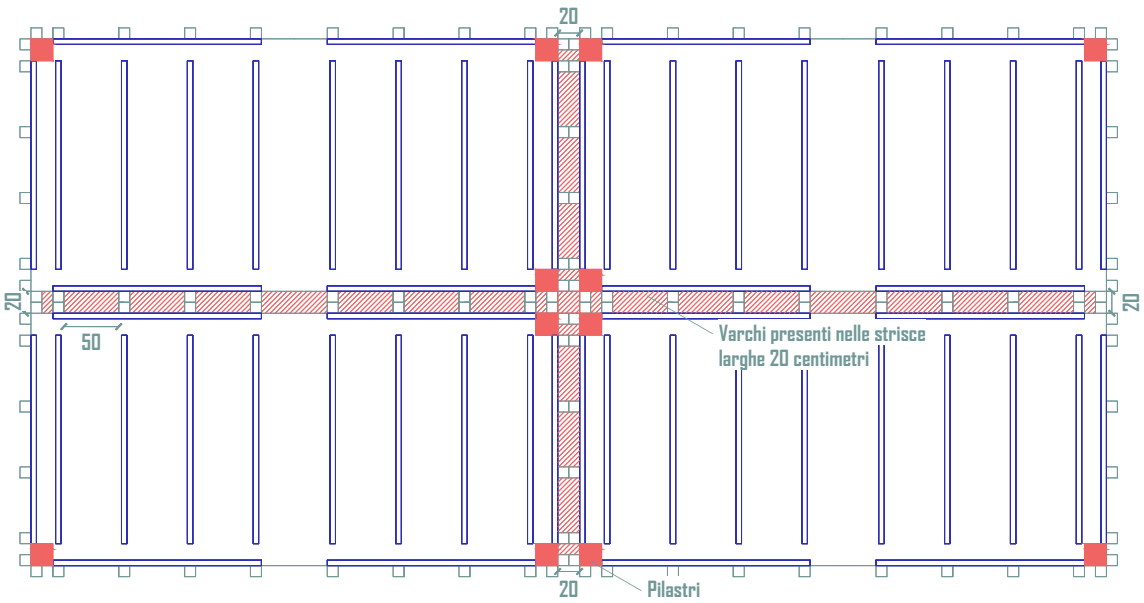


Fig. 04.03.152 - Accostamento in pianta dei moduli con i relativi varchi larghi 20 centimetri, sfruttabili per l'installazione su ogni lato del modulo di un cavedio impiantistico della dimensione desiderata (elaborazione dell'autore, fuori scala).

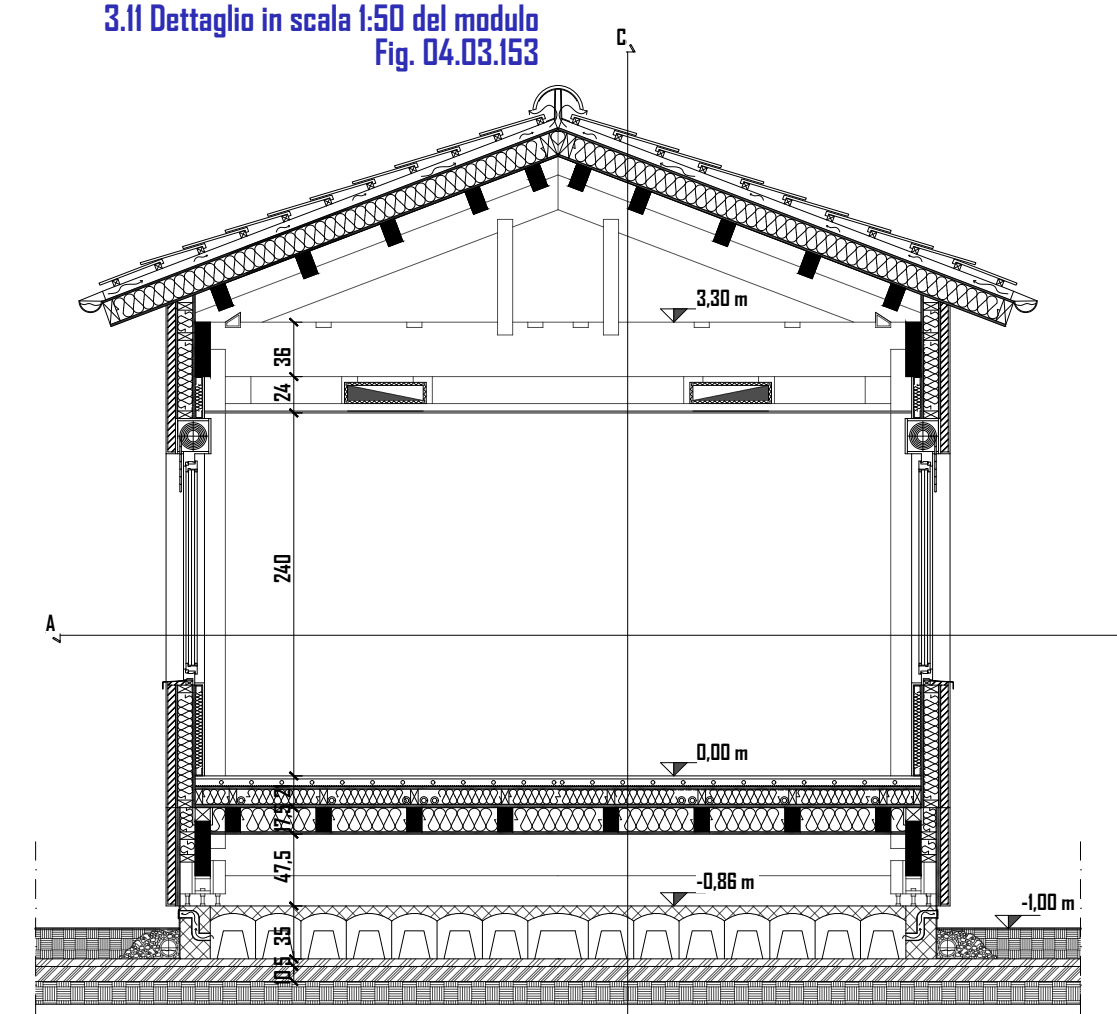
3.10 Tolleranze di lavorazione e calibrazione degli incastri

Le dimensioni riportate per i componenti del sistema Dado rappresentano, nella fase progettuale, le geometrie teoriche e le quote nominali assunte per definire il principio costruttivo e il funzionamento degli incastri. In una successiva fase di sviluppo esecutivo, tali dimensioni dovranno essere calibrate considerando le tolleranze proprie della lavorazione industriale e, soprattutto, quelle necessarie a garantire il corretto assemblaggio dei componenti. La lavorazione mediante macchine CNC consente infatti di ottenere elevati livelli di precisione, ma non una coincidenza geometrica assoluta tra gli elementi differenti: alle tolleranze della macchina e dell'utensile si sommano le variazioni dimensionali proprie del legno, legate all'umidità, alla temperatura, alla lavorazione e alle caratteristiche del singolo elemento.

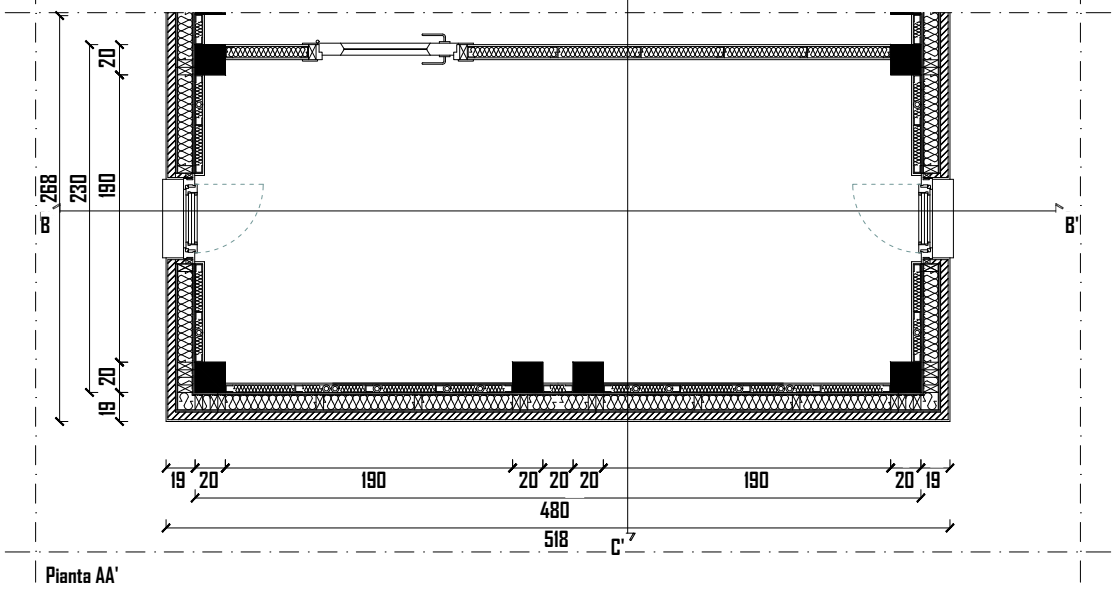
Particolare attenzione dovrà pertanto essere riservata agli incastri Cross Lap e Dado Joint. Le dimensioni dello scasso e dell'elemento complementare non potranno essere definite esclusivamente come la perfetta corrispondenza delle due geometrie, ma dovranno prevedere un'opportuna tolleranza di montaggio. Un incastro eccessivamente preciso potrebbe infatti rendere difficoltoso o impossibile l'inserimento dei componenti in cantiere, mentre un gioco eccessivo potrebbe compromettere la corretta posizione degli elementi e il comportamento del nodo.

Le quote attualmente adottate costituiscono quindi un riferimento geometrico preliminare, da verificare e ricalibrare.

3.11 Dettaglio in scala 1:50 del modulo
Fig. 04.03.153



Sezione BB'



Pianta AA'

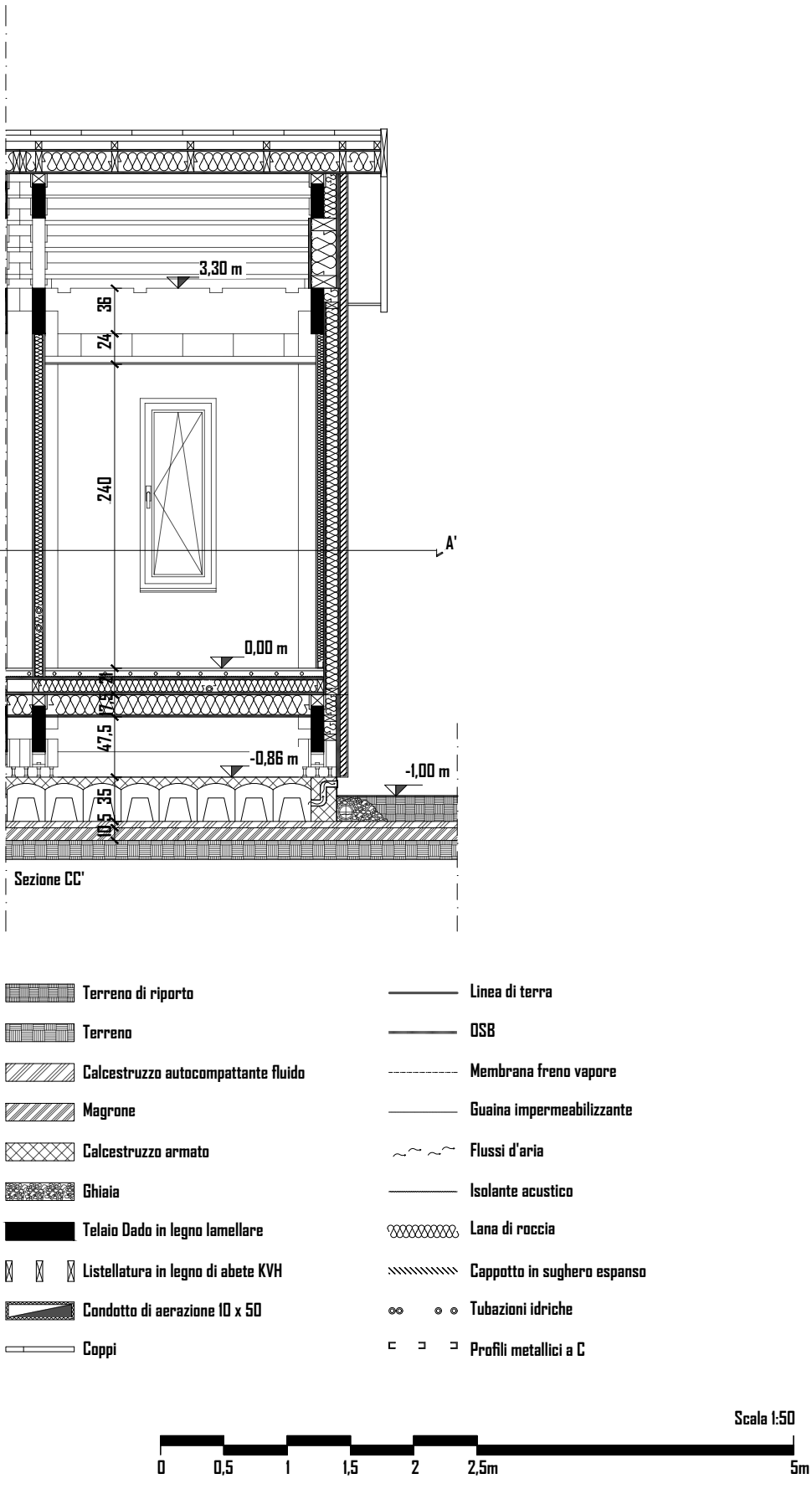
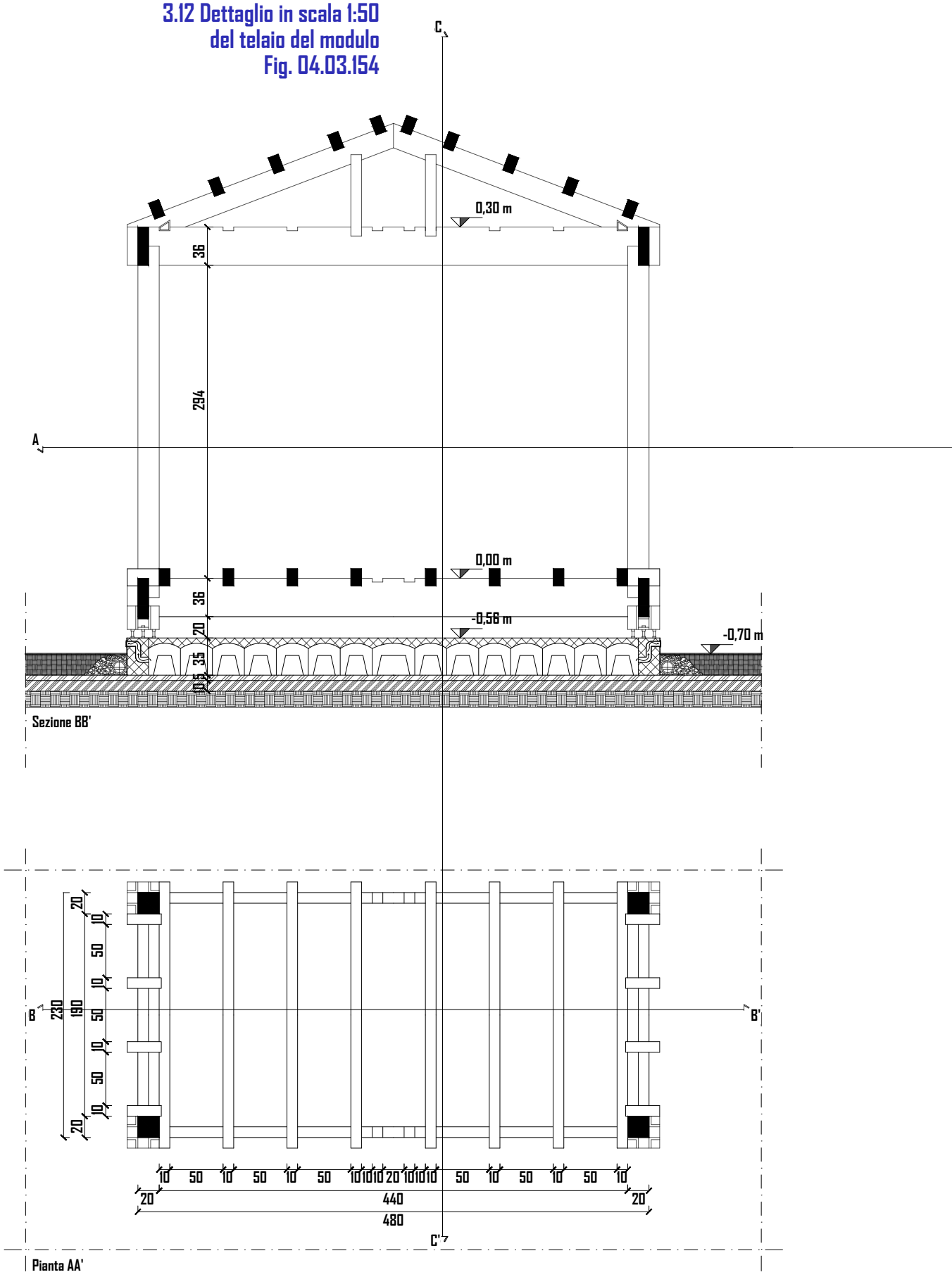


Fig. 04.03.153 - Pianta e sezioni di due moduli affiancati Dado, con controsoffitto, impianti e tramezza interna. (elaborazione dell'autore, scala 1:50).

3.12 Dettaglio in scala 1:50 del telaio del modulo Fig. 04.03.154



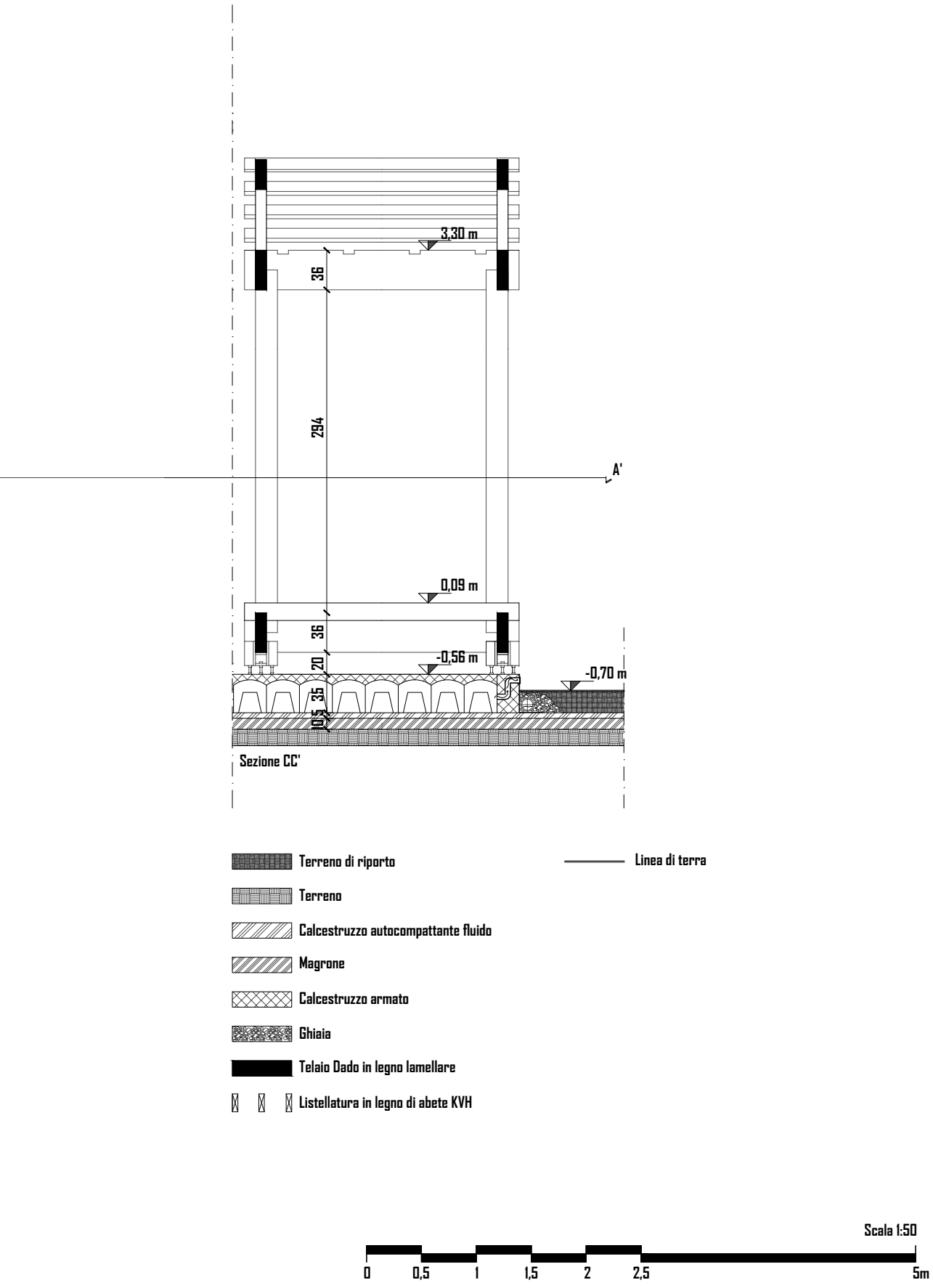
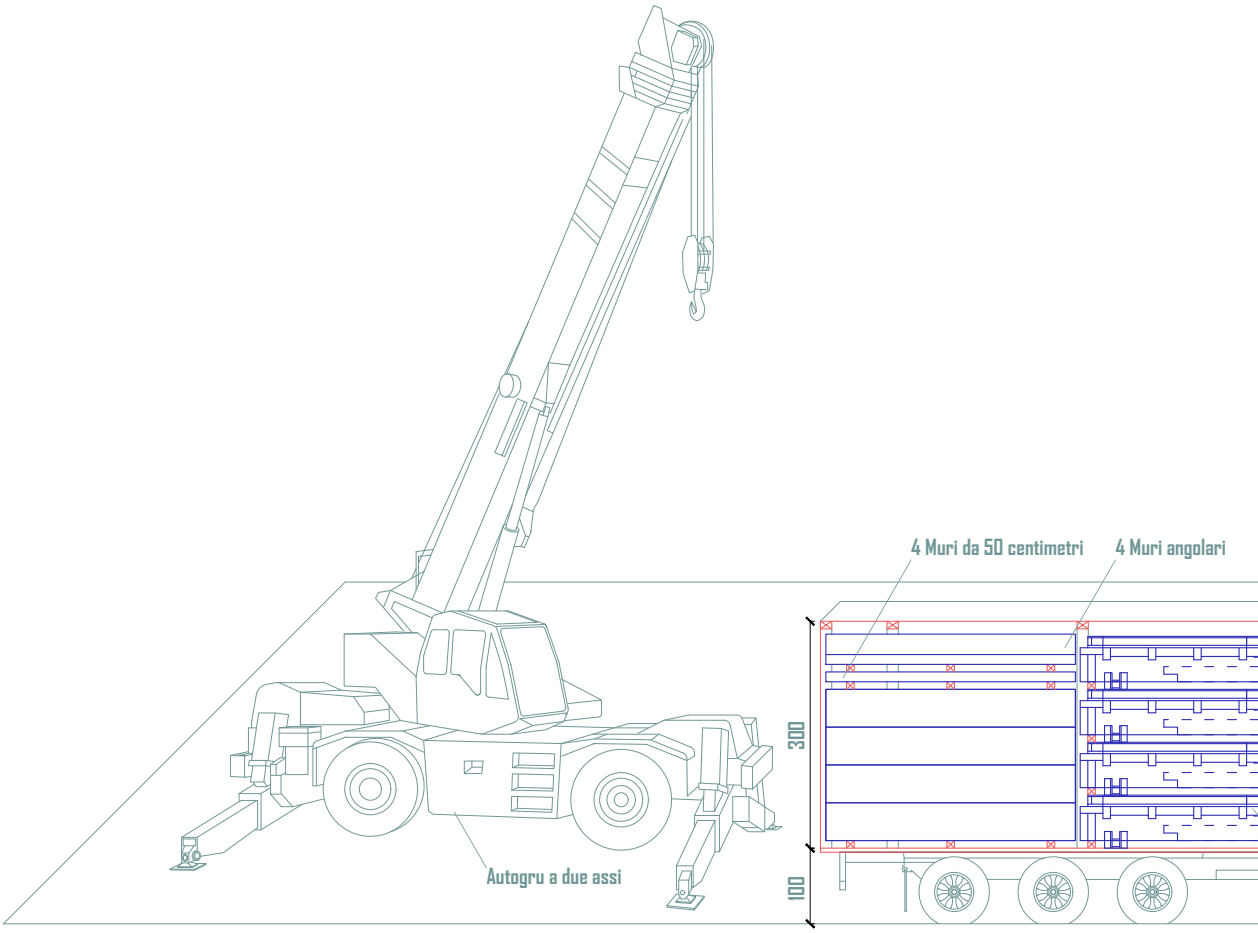


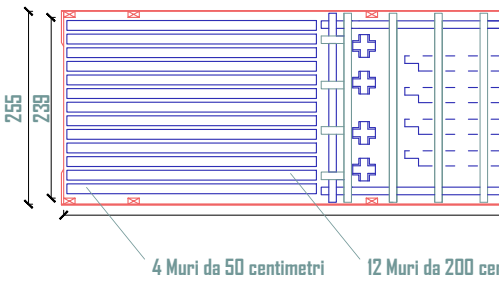
Fig. 04.03.154 - Pianta e sezioni del telaio del modulo Dado. (elaborazione dell'autore, scala 1:50).

04
La logistica dei pezzi Dado

4.1 Il trasporto dei pezzi Dado

In questo paragrafo viene affrontato uno degli aspetti più importanti di un sistema prefabbricato: la logistica e il trasporto di tutti i pezzi. Tutti i ragionamenti e le decisioni a livello dimensionale del modulo sono ricondotti a un grande vincolo inderogabile, ovvero le misure standard del mezzo di trasporto, a sua volta derivanti da altre regole altrettanto inderogabili: i limiti di sagoma dei veicoli.





Il mezzo adottato per il trasporto è l'autoarticolato denominato TIR in configurazione Mega. Questo veicolo dispone di un piano di carico con una lunghezza utile di circa 13,60 metri e una larghezza massima esterna regolamentare di 2,55 metri[167]. Tale larghezza, tuttavia, si riduce in corrispondenza degli elementi verticali della struttura metallica di supporto al telo del semirimorchio, costituiti da scatolati con dimensioni medie di circa 8 × 15 centimetri. In corrispondenza di tali elementi, la larghezza utile disponibile si riduce pertanto a circa 2,39 metri.

Per garantire la compatibilità del modulo con questa configurazione di trasporto, la geometria dell'elemento prefabbricato è stata studiata in modo da distinguere la sagoma del corpo principale dello stesso, dalle estremità degli elementi strutturali. Il corpo del modulo presenta infatti una larghezza di 2,30 metri, mentre le travi principali e secondarie, in corrispondenza delle loro estremità, si estendono di ulteriori 10 centimetri per lato, raggiungendo complessivamente una larghezza di 2,50 metri. (vedi i paragrafi precedenti). Tali elementi sono disposti con un passo di 50 centimetri, creando una successione di sporgenze intervallate da spazi liberi. Questa configurazione permette di collocare gli elementi verticali di supporto della copertura in telo del TIR fra questi spazi vuoti, godendo della minore larghezza del corpo del modulo. La soluzione consente quindi di sfruttare al massimo il piano di carico senza ricorrere a trasporti eccezionali.

La caratteristica fondamentale del modello Mega risiede inoltre nella geometria del telaio e nella quota del piano di carico: il pianale calpestabile si trova a circa un metro dal piano stradale, consentendo di sfruttare l'altezza massima complessiva di 4 metri da terra prevista dall'articolo 61 del Codice della Strada italiano. Internamente, il semirimorchio Mega mette pertanto a disposizione una luce vertica-

[167] Art. 61 del D.Lgs. 30 aprile 1992, n. 285 (Codice della strada) in materia di "Sagoma limite per la legge ufficiale".

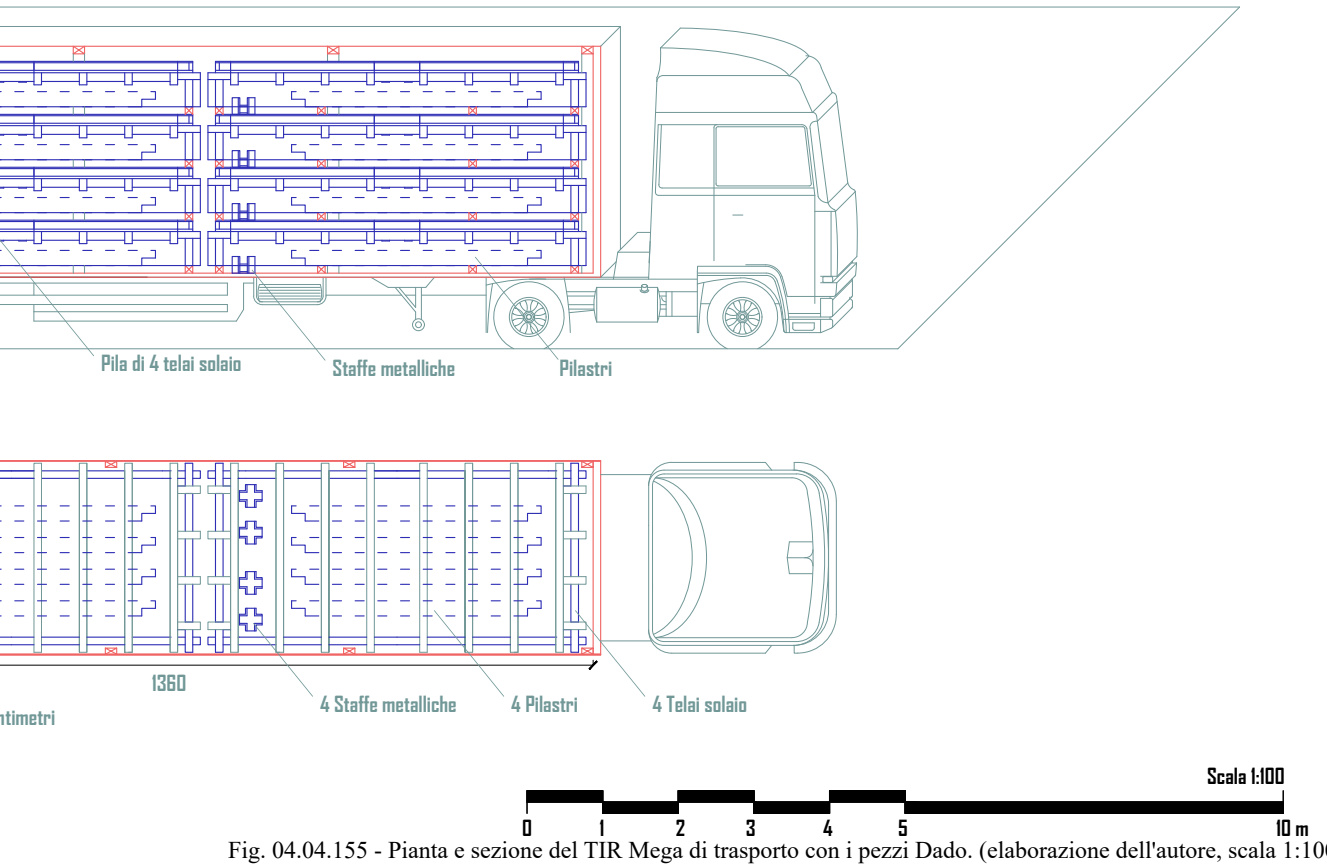


Fig. 04.04.155 - Pianta e sezione del TIR Mega di trasporto con i pezzi Dado. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

le utile netta di circa 3 metri, rendendo possibile il trasporto dei moduli prefabbricati e mantenendoli all'interno dei limiti dimensionali previsti.

I pezzi vengono calati dall'alto (il telaio della copertura del mezzo può essere rimosso temporaneamente durante il carico e lo scarico) e impilati orizzontalmente sul pianale del cassone. In particolare, i telai dei solai vengono disposti uno sopra l'altro fino a un massimo di quattro e, nello spazio vuoto tra le secondarie e il telaio sottostante, vengono predisposti i pilastri e le staffe metalliche per il modulo stesso. È possibile predisporre due pile di telai, portando a un massimo di quattro moduli completi trasportati da un singolo TIR, dato che sul fondo del semirimorchio è ancora disponibile spazio per l'alloggiamento dei pezzi parete da 200 centimetri (possono essere alloggiati 12) e da 50 centimetri (possono essere alloggiati da 8 a 10), oltre agli elementi angolari (possono essere alloggiati da 4 a 6). Una volta disposti in pile, i componenti vengono messi in sicurezza mediante cinghie a cricchetto (Fig. 04.04.155).

Ipotizzando il trasporto di un'abitazione di 90 metri quadrati composta da 8 moduli, si ritengono necessari tre TIR: due per i moduli e i tamponamenti, e un terzo autocarro per la copertura, i relativi tamponamenti, le piccole parti di rifinitura, gli impianti e il cappotto (i telai della copertura sono ancora più sottili dei telai del solaio).

La grande attenzione rivolta a questo aspetto logistico ha il fine di minimizzare i viaggi complessivi, riducendo al minimo i costi di trasporto.

4.2 La posa degi elementi Dado

Raggiunta la località oggetto d'intervento, si rende necessaria la movimentazione dei componenti dal TIR alla fondazione. Per realizzare questo passaggio in maniera diretta ossia dal cassone del camion alla zona di posa, senza stoccaggi intermedi a terra è fondamentale pianificare la sistemazione dei pezzi all'interno del cassone stesso: gli elementi da posare per primi devono essere posizionati in alto, mentre quelli da installare per ultimi vanno collocati sul fondo. In questo senso, il fatto che molti componenti siano geometricamente standardizzati e uguali tra loro agevola notevolmente la progettazione dell'ordine di carico all'interno del mezzo di trasporto.

Poiché l'autoarticolato stradale raggiunge un'altezza limite di 4 metri, è necessario impiegare un mezzo di sollevamento capace di estendersi fino a 7 o 8 metri di altezza per poter prelevare dall'alto i vari elementi. Tale operazione deve avvenire direttamente dall'area di sosta del TIR; quest'ultimo, infatti, data la sua mole e la sua vocazione esclusivamente stradale, non può addentrarsi in prossimità delle fondazioni, dove il terreno si presenta sconnesso e tipico di un cantiere.

Per quanto riguarda i carichi, l'elemento strutturale più pesante e ricorrente del modulo è il telaio del solaio al grezzo, che si attesta a 760 chilogrammi; tuttavia, i blocchi prefabbricati impiegati per la realizzazione delle scale esterne o per gli elementi decorativi dell'area circostante possono raggiungere anche i 1.500 chilogrammi. Per operare con un congruo margine di sicurezza, si ipotizza quindi una capacità di sollevamento utile del mezzo pari a 2.000 chilogrammi, da mantenere costantemente lungo tutto l'arco di sbraccio che separa l'area di carico dall'area di cantiere.

Naturalmente, ogni contesto logistico presenta le proprie specificità; tuttavia, in linea generale

si prevede l'impiego di un'autogrù fuoristrada a due assi. Questo mezzo è pensato appositamente per posizionarsi all'interno del cantiere e stabilizzarsi tramite i propri piedi idraulici, svolgendo l'efficace funzione di intermediario tra la zona di sosta del TIR e la zona di posa della fondazione. Rispetto a una gru a torre tradizionale, l'autogrù semovente garantisce tempi di posizionamento estremamente più rapidi, azzerando i lunghi e costosi tempi di montaggio di una struttura fissa.

05
La classificazione degli elementi Dado

5.1 Abaco degli elementi Modulo Dado
Fig. 04.05.156

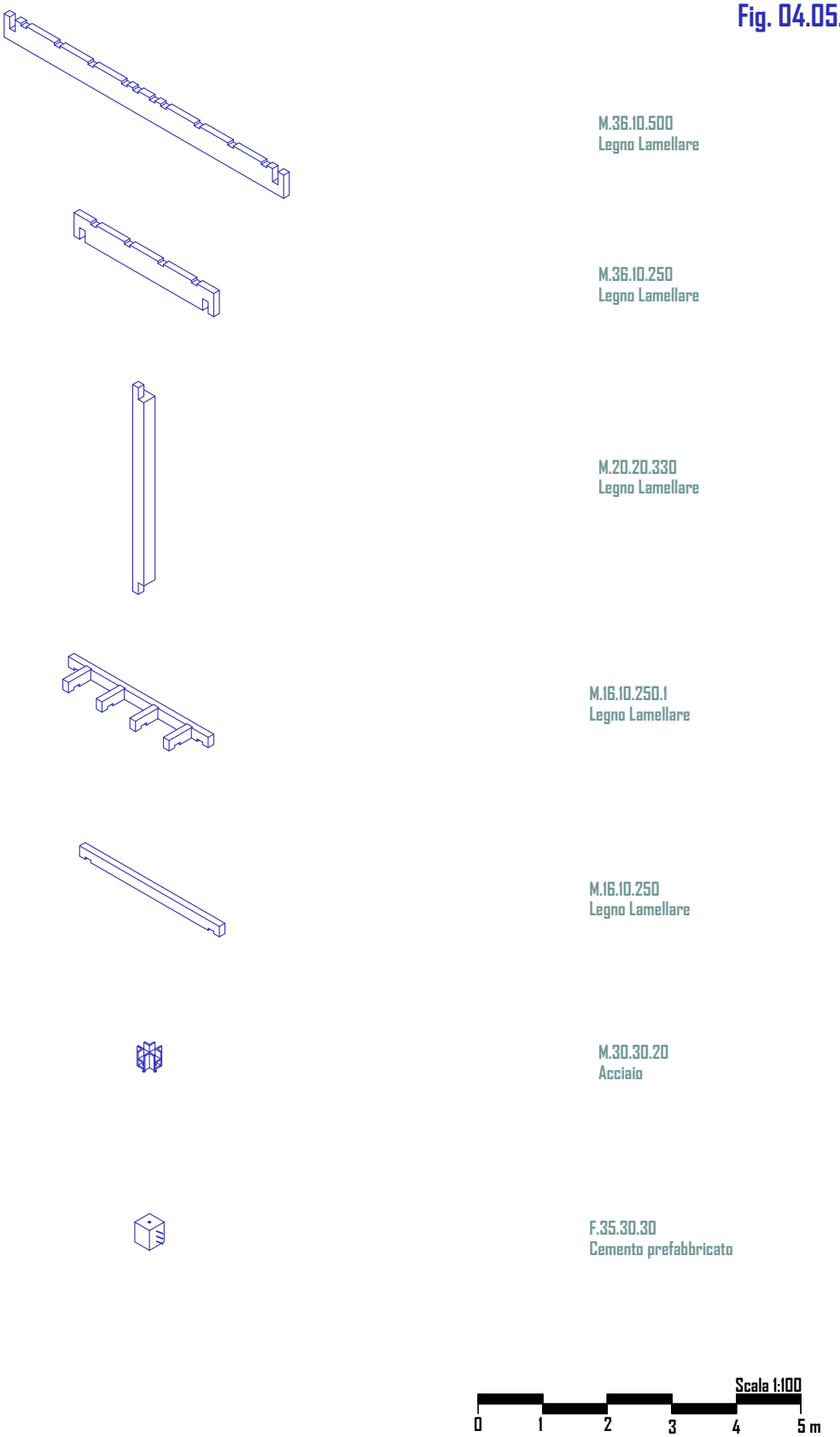


Fig. 04.05.156 - Abaco elementi modulo. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

5.2 Abaco degli elementi Solaio Dado
Fig. 04.05.157

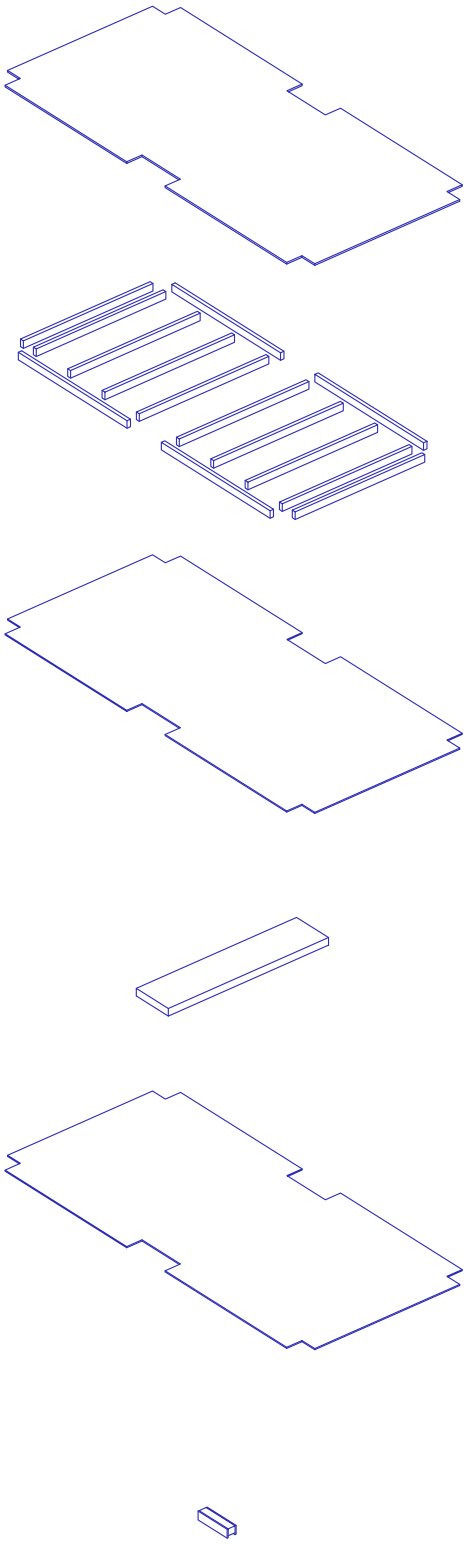
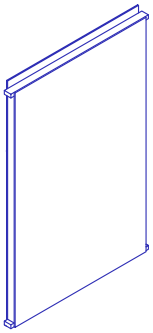


Fig. 04.05.157 - Abaco elementi solaio. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

5.3 Abaco degli elementi Parete Dado
Fig. 04.05.158



P.200.320.13
Legno di abete KVH - Lana di roccia - OSB
Membrana freno vapore



P.50.320.13
Legno di abete KVH - Lana di roccia - OSB
Membrana freno vapore



P.28.28.320.13
Legno di abete KVH - Lana di roccia - OSB
Membrana freno vapore



P.250.65.13
Legno di abete KVH - Lana di roccia - OSB



P.100.50.5,4
Sughero - Rasatura - Tinteggiatura

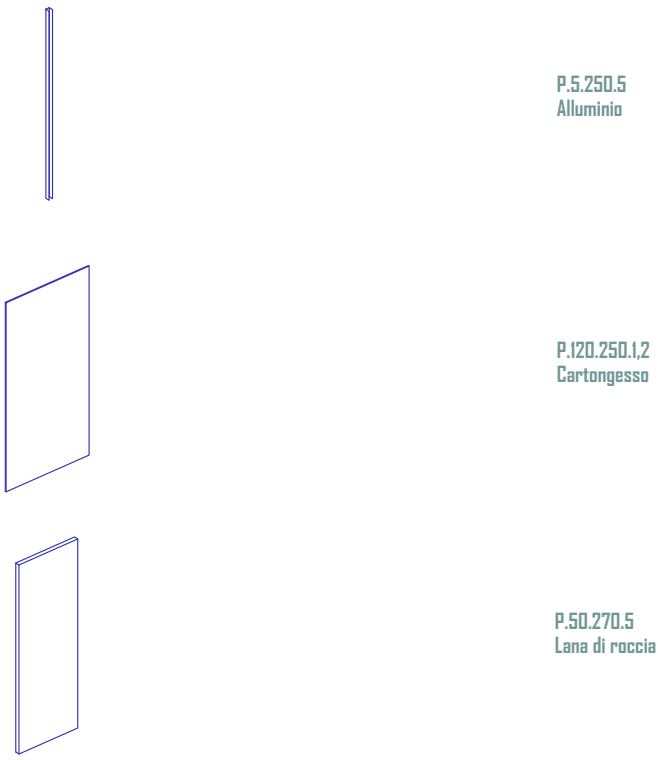


Fig. 04.05.158 - Abaco elementi parete. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

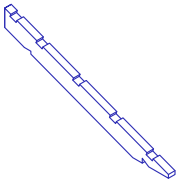
5.4 Abaco degli elementi Copertura Dado
Fig. 04.05.159



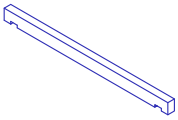
C.20.10.70
Legno Lamellare



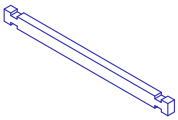
C.10.10.10
Acciaio



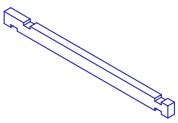
C.32.10./
Legno Lamellare



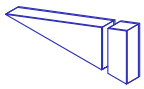
C.16.10.250
Legno Lamellare



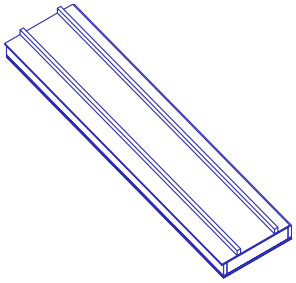
C.16.10.250.1
Legno Lamellare



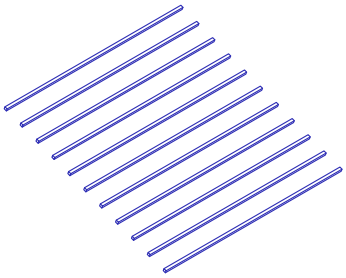
C.16.10.250.2
Legno Lamellare



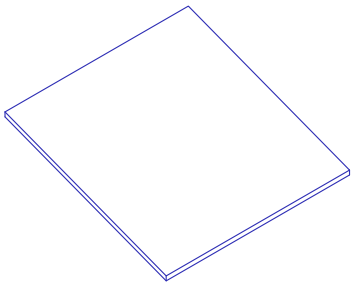
C././.20
Legno di abete KVH - Lana di roccia - OSB
Membrana freno vapore



C.100.30./
Legno di abete KVH - Lana di roccia - OSB
Membrana freno vapore



C.4.4./
Legno di abete



C././.1
Rivestimento copertura generico

La denominazione "/" indica un valore dimensionale variabile in base alla specifica richiesta.

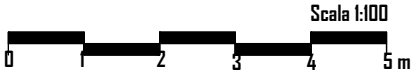
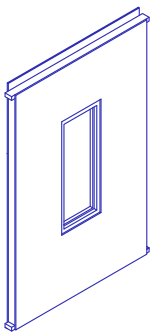
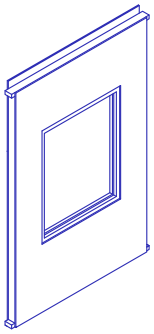


Fig. 04.05.159 - Abaco elementi copertura. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

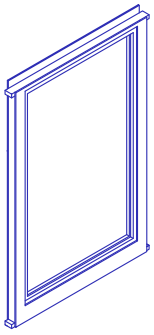
5.5 Abaco degli elementi Infissi
Fig. 04.05.160



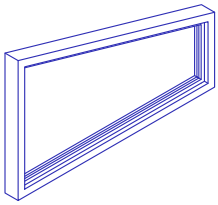
I.60.150.10
PVC - Alluminio - Triplo vetro
Anta apribile e Tapparella motorizzata



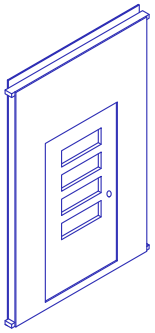
I.120.150.10
PVC - Alluminio - Triplo vetro
Anta apribile e Tapparella motorizzata



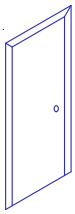
I.180.280.10
I.170.280.10
I.120.280.10
I.60.280.10
PVC - Alluminio - Triplo vetro
Vetrata facciata continua con veneziana integrata nella stratigrafia



I.300./.10
I.60./.10
PVC - Alluminio - Triplo vetro
Vetrata facciata continua



I.100.220.10
PVC - Alluminio - Doppio vetro



I.80.210.5
Legno - Laminato - Alluminio - Vetro singolo
Apertura a battente o scorrevole

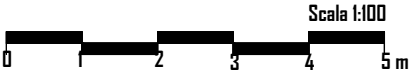


Fig. 04.05.160 - Abaco degli infissi standard. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

Sperimentazioni con il sistema costruttivo prefabbricato

DADO prende forma: il sistema costruttivo messo alla prova

L'obiettivo del presente capitolo è sviluppare delle proposte architettoniche al fine di verificare la flessibilità del sistema costruttivo. Questo per mettere in luce eventuali criticità, difetti o punti di forza, la sperimentazione ha lo scopo di mettere in pratica le scelte teoriche sviluppate nel precedente capitolo, osservandole concretamente in due proposte molto differenti:

- Una villa contemporanea caratterizzata da volumetrie dinamiche e articolate, grazie all'inclinazione delle falde e ai moduli stessi, che dialogano con il giardino circostante. Le ampie vetrate collaborano mettendo in comunicazione i due mondi, esterno e interno.

- Un'abitazione di stile tradizionale caratterizzata da volumetrie più coese e spazi più contenuti, ottenuta mediante l'accostamento di moduli in modo più compatto e falde meno pronunciate, oltre che l'impiego di infissi di dimensioni standard.

01
Proposta di casa unifamiliare di 100 metri quadri
Villa Smeraldo (Fig. 05.01.161)

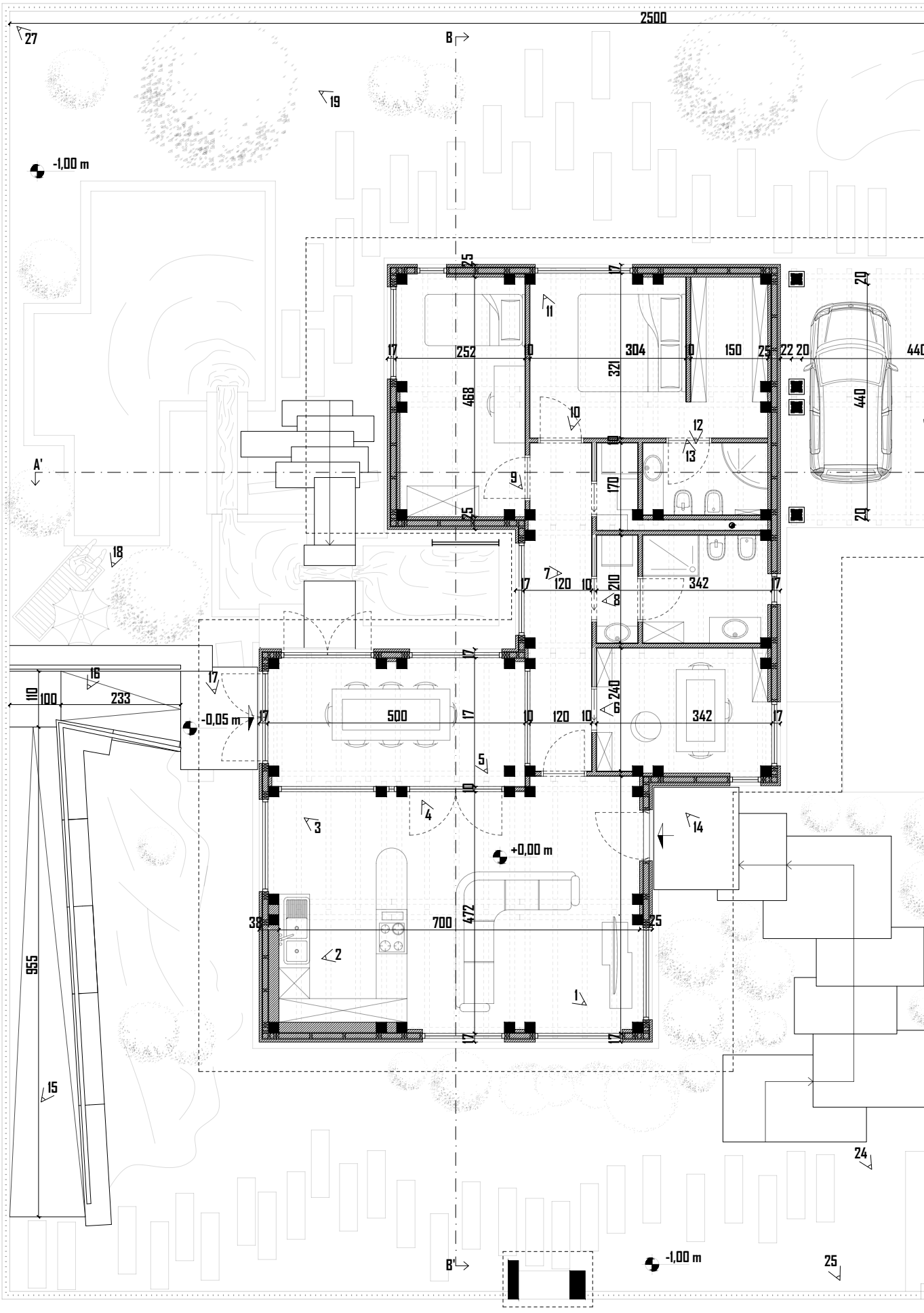


1.1 Le caratteristiche

Villa Smeraldo è una proposta indipendente di circa 100 metri quadri calpestabili e 117 metri quadri commerciali (esclusa rimessa di 19,40 metri quadri), sviluppata su un unico piano fuori terra. Dal punto di vista architettonico segue linee contemporanee, le falde donano dinamicità ai volumi, mentre le ampie vetrate permettono di immergersi nel giardino circostante di 475 metri quadri (su terreno di 612 metri quadri). Quest'ultimo ha lo scopo di simulare un paesaggio naturale boschivo: i blocchi prefabbricati riproducono delle rocce spontanee ma posizionati in modo strategico al fine di generare gli accessi (garantendo il rispetto dell'ergonomia di percorrenza). A questo effetto contribuiscono la ricca vegetazione e il terreno movimentato da variazioni di quota. L'acqua gioca un ruolo fondamentale nel completare l'oasi, delle vasche in cemento prefabbricato simulano specchi d'acqua naturali, alimentati da una parete rocciosa che riproduce una sorgente; i blocchi, appositamente modellati, guidano poi il flusso verso la piscina interrata. Le finiture seguono la medesima linea contemporanea: la pittura di colore nero crea un forte contrasto con la luminosità delle vetrate, mentre alcune porzioni di parete rivestite in mattoni donano un carattere rustico all'intero complesso.



Fig. 05.01.161 - Render Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).


2500
27
B
19
-1,00 m
A'
18
16
17
110
100
233
-0,05 m
955
15
25
11
17
252
10
304
150
25
22
20
321
468
10
12
13
9
170
7
120
210
342
500
240
5
4
3
+0,00 m
14
38
700
472
2
1
B'
-1,00 m
25
24
440

1.2 Vista di Pianta (Fig. 05.01.162)

La soluzione include: un soggiorno-cucina di 40 metri quadri; una zona pranzo di 12,80 metri quadri; un bagno con antibagno di 6,80 metri quadri; una camera singola di 11,60 metri quadri; una camera doppia di 14,50 metri quadri con un bagno en suite di 3,40 metri quadri; un locale impianti (pompa di calore, impianto VMC e rack dati) di 1,36 metri quadri; una camera adibita a smart-working o palestra di 8,30 metri quadri e una rimessa auto esterna di 19,40 metri quadri.

Sul fronte dell'accessibilità vi sono tre ingressi: una scala principale in facciata, una scala sul retro e, sul lato ovest, una rampa che porta alla zona pranzo e consente l'accesso a persone su sedia a rotelle (inclinazione massima dell'8%). L'immobile si sviluppa su un unico livello, facilitando la fruibilità per chi presenta problematiche motorie.

La stanza per lo smart-working e la palestra riprende i recenti approfondimenti e studi riguardanti le nuove esigenze della vita moderna, in cui il lavoro è sempre più svolto da remoto e lo sport diventa parte integrante delle nostre giornate (capitolo 3). Il grande living aperto sulla cucina, inoltre, offre un grande senso di ampiezza e libertà nell'uso degli ambienti.

La metratura dell'intero appartamento segue la linea delle attuali richieste di mercato per soluzioni di circa 80 metri quadri, adatte a nuclei familiari medio-piccoli (capitolo 3). La superficie complessiva di circa 100 metri quadri supera tuttavia questo standard, proprio al fine di integrare il locale adibito a smart-working o zona allenamento.

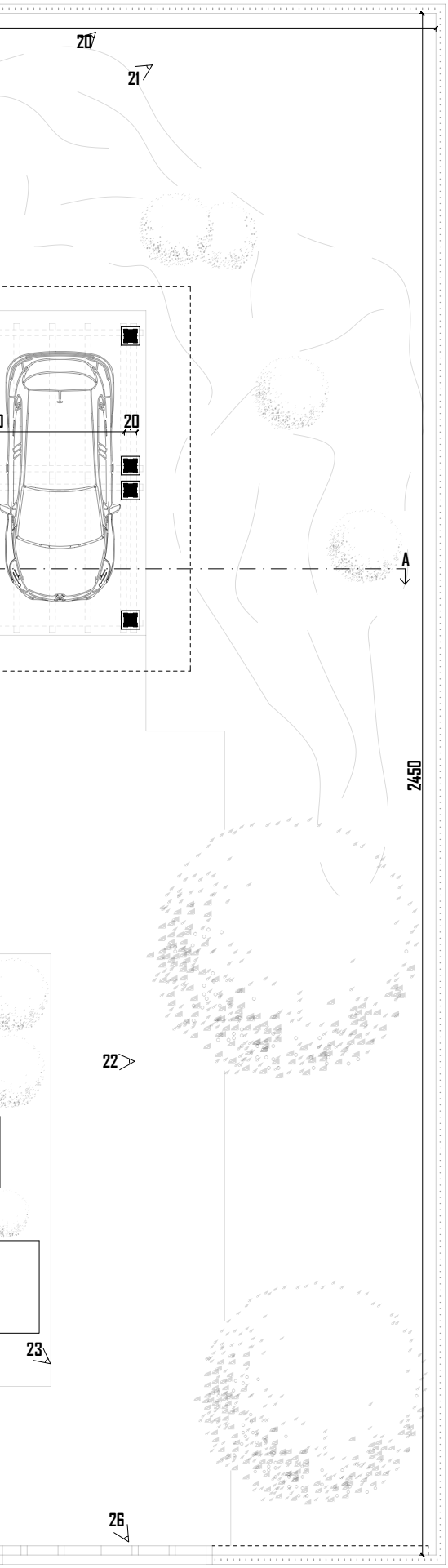
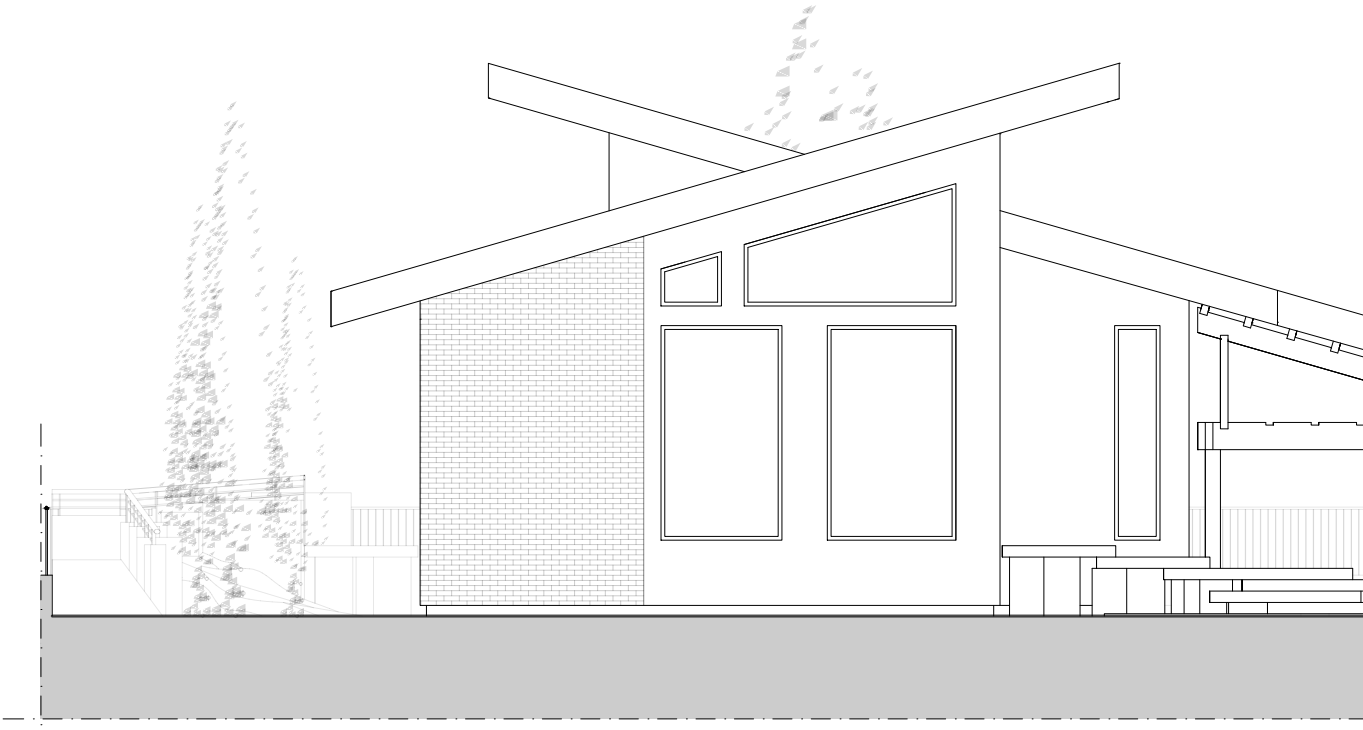
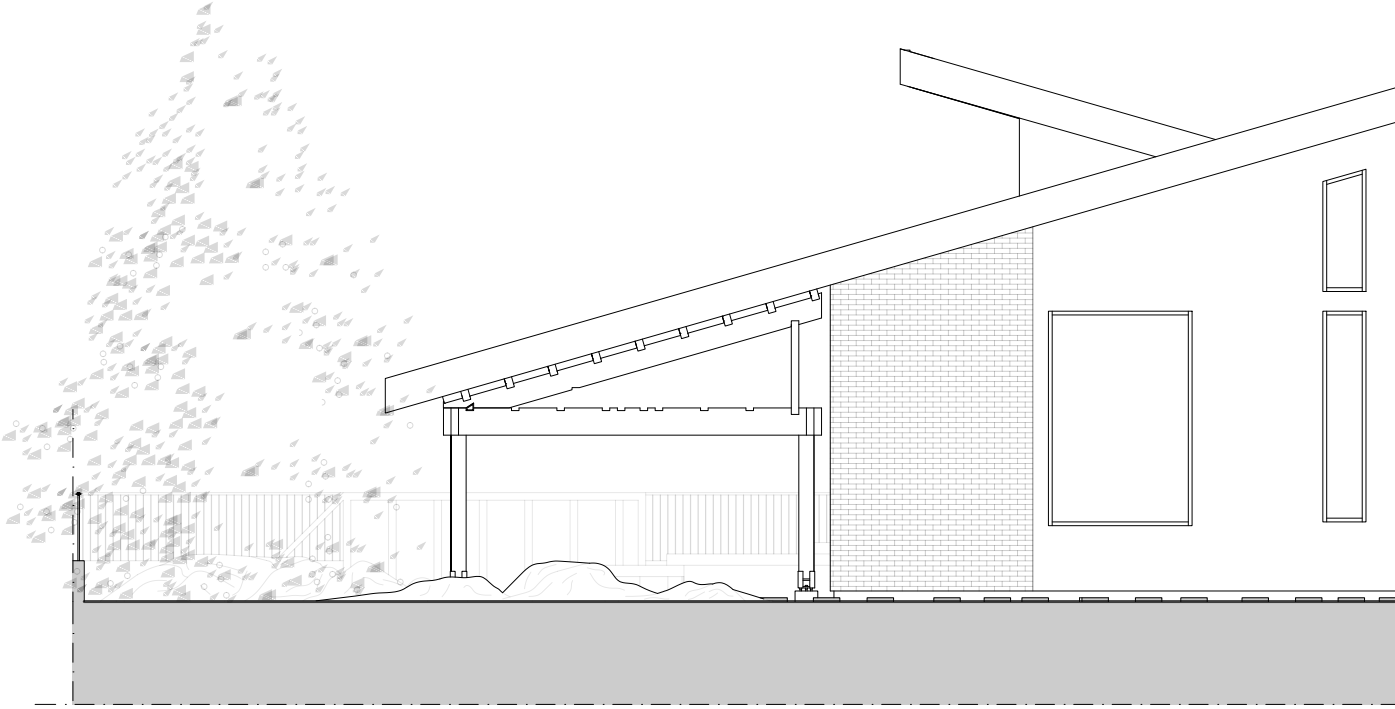


Fig. 05.01.162 - Pianta Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).



Prospetto Sud

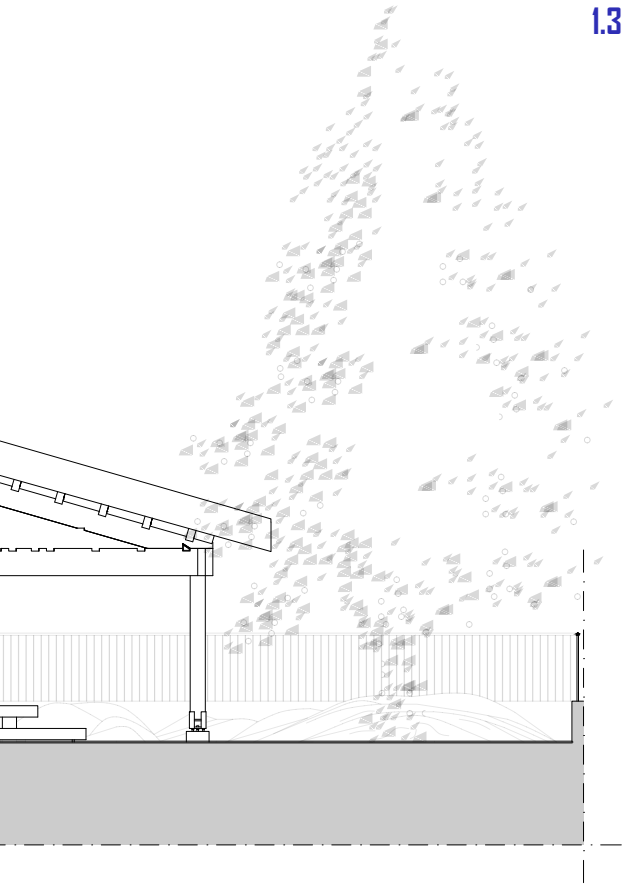
Fig. 05.01.163 - Prospetto Sud Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

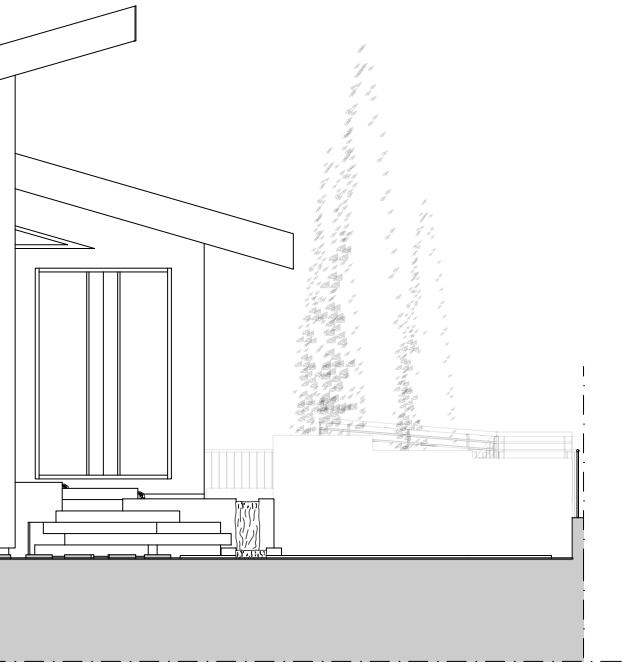


Prospetto Nord

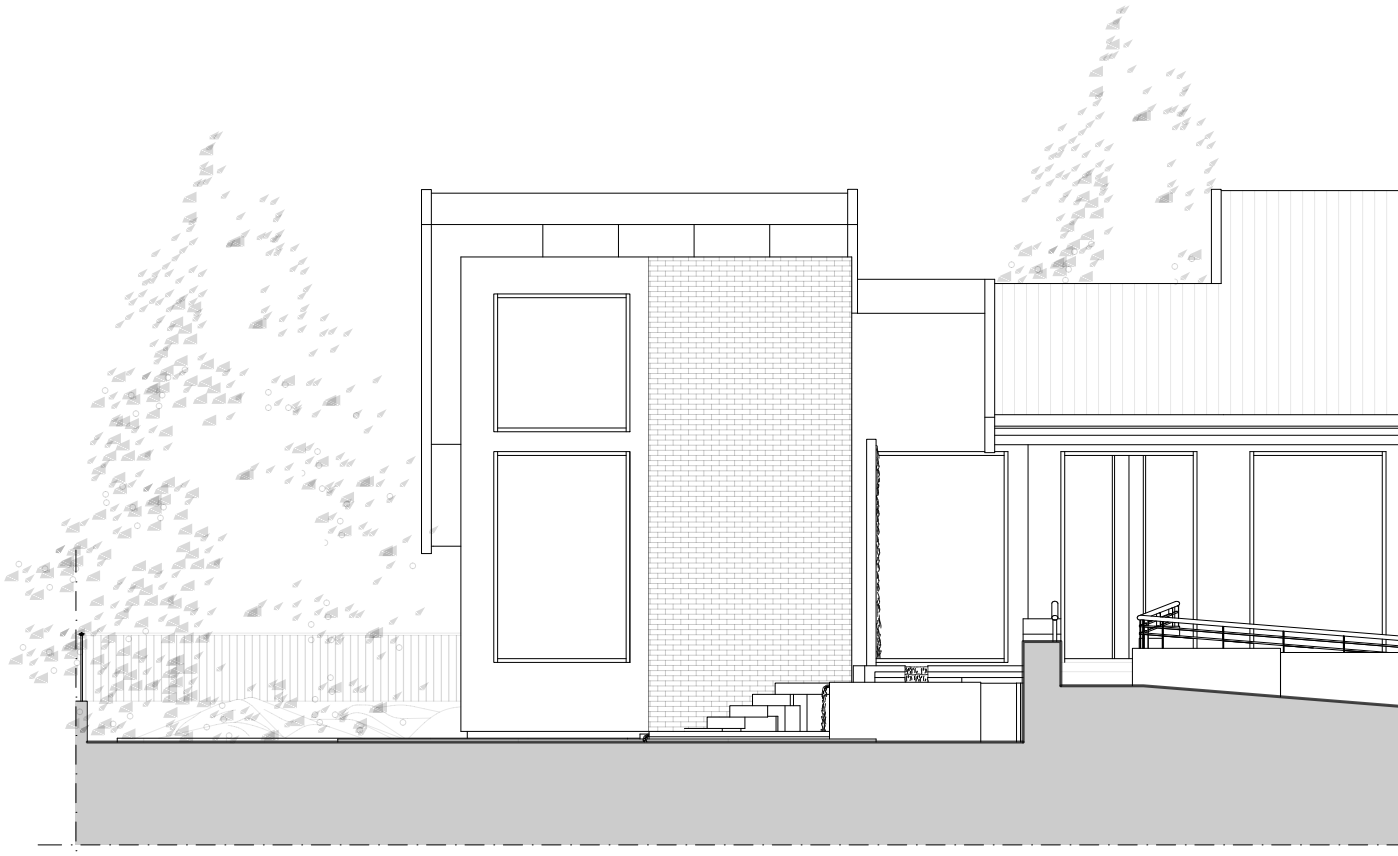
Fig. 05.01.164 - Prospetto Nord Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

1.3 Viste dei prospetti: Sud (Fig. 05.01.163) - Nord (Fig. 05.01.164)









Prospetto Ovest

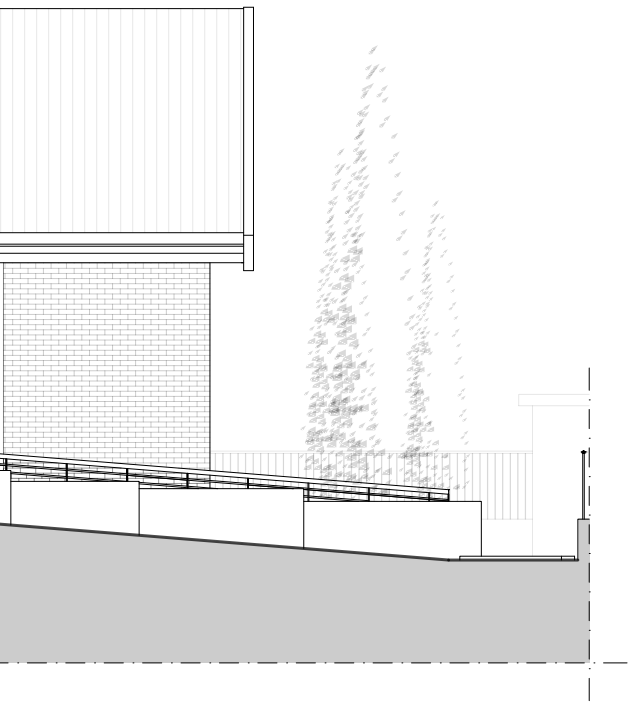
Fig. 05.01.165 - Prospetto Ovest Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

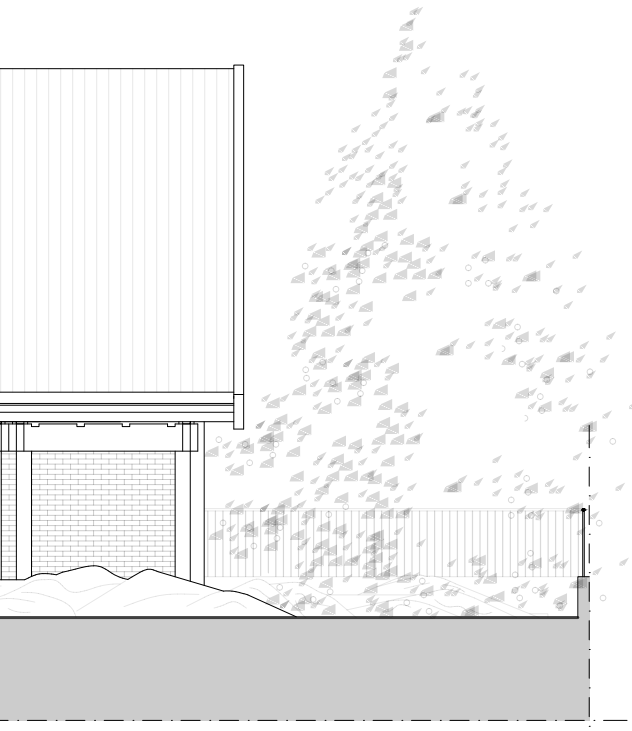


Prospetto Est

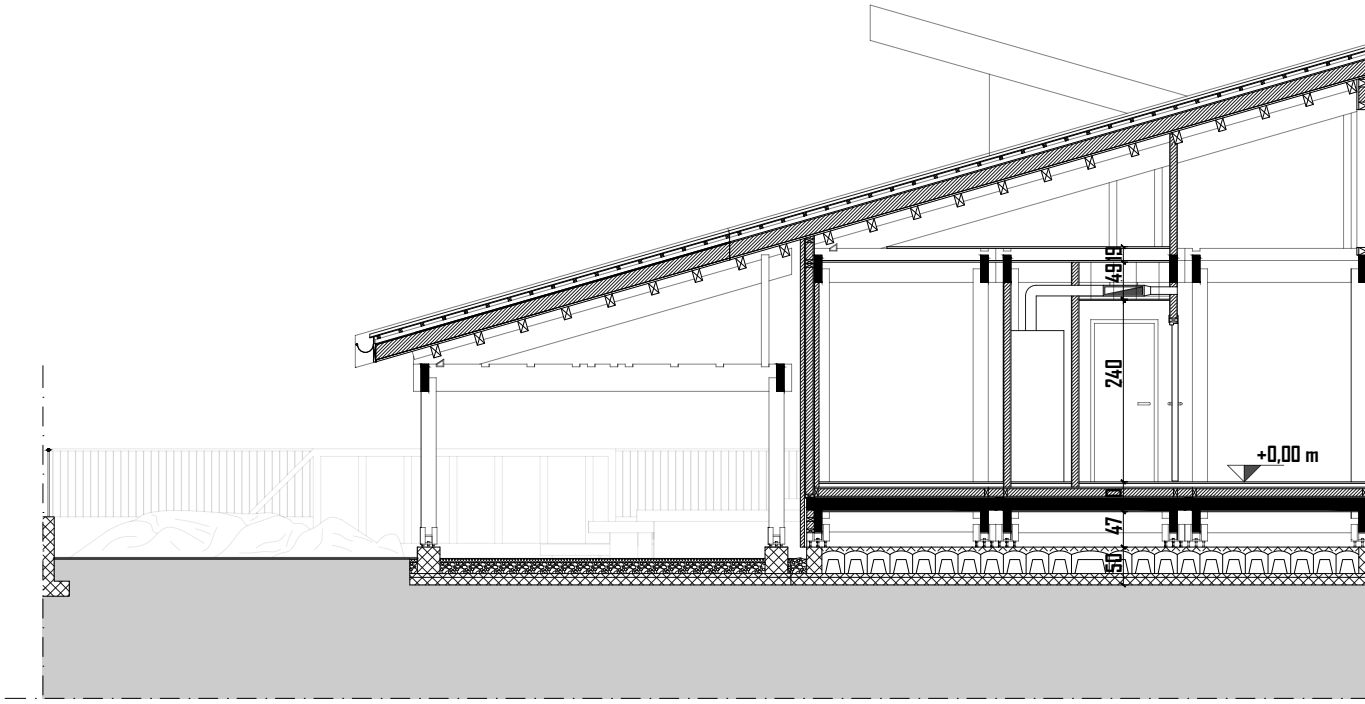
Fig. 05.01.166 - Prospetto Est Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

1.4 Viste dei prospetti: Ovest (Fig. 05.01.165)- Est (Fig. 05.01.166)



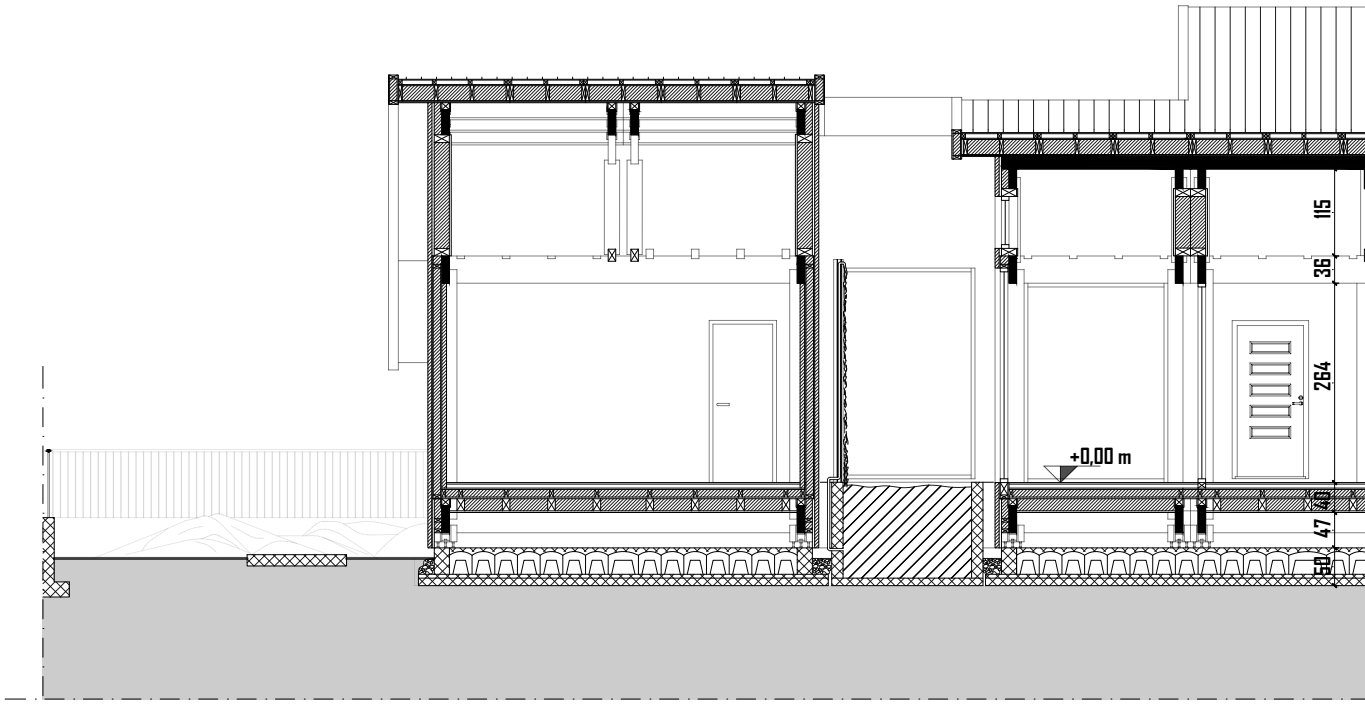






Sezione AA'

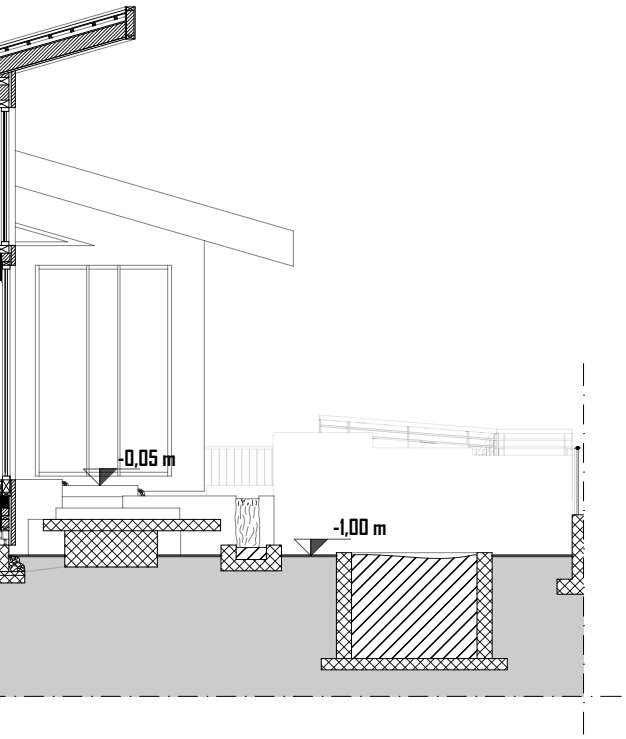
Fig. 05.01.167 - Sezione Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).



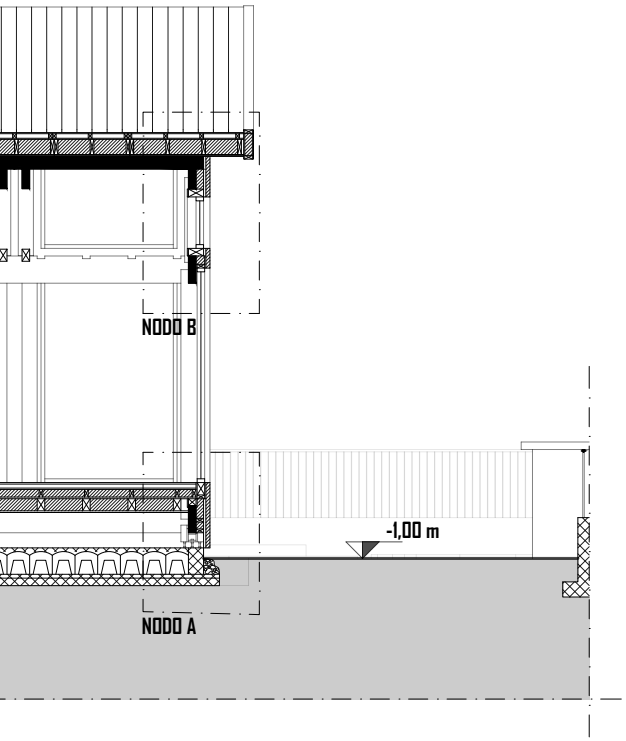
Sezione BB'

Fig. 05.01.168 - Sezione Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

1.5 Viste di sezione: AA' (Fig. 05.01.167) - BB' (Fig. 05.01.168)

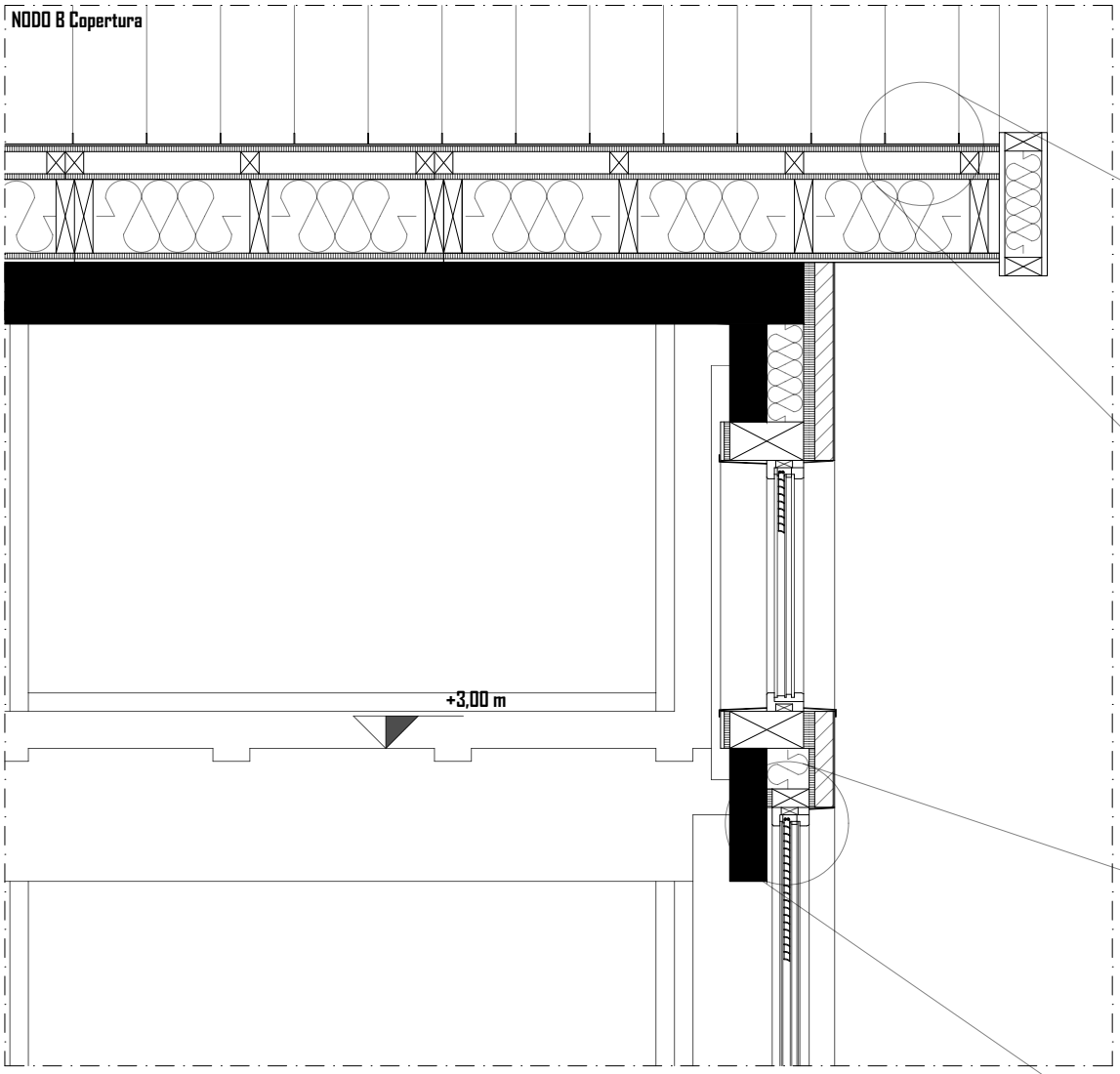


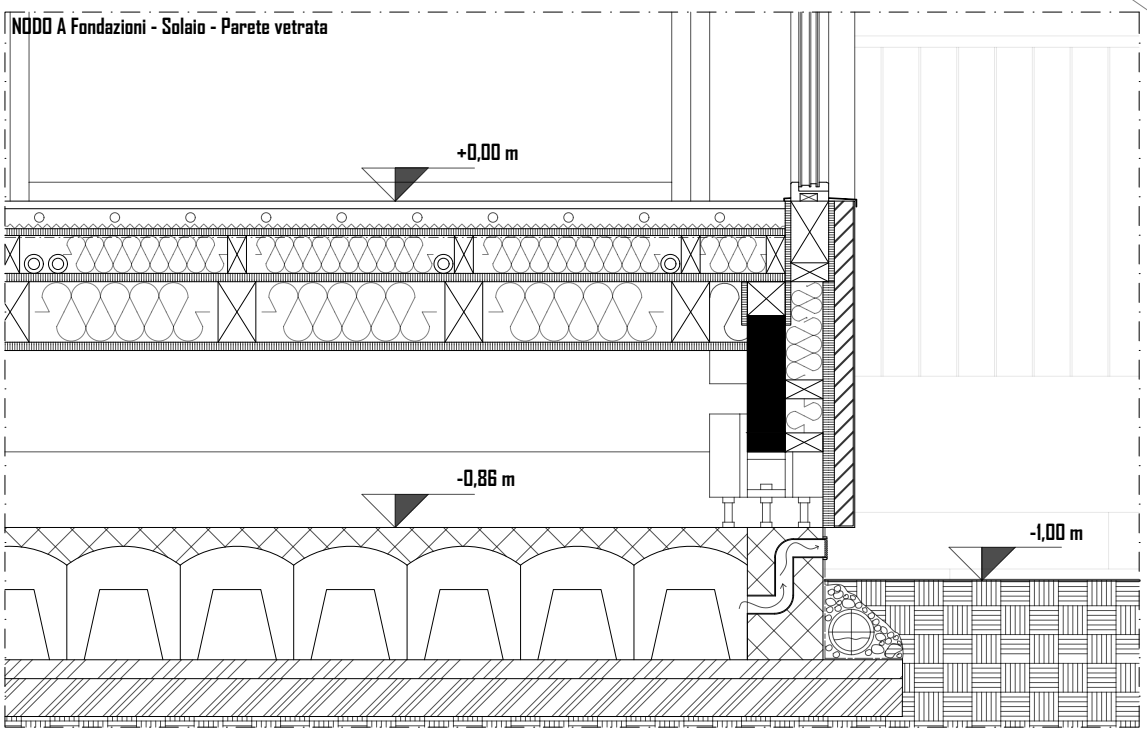
Nella vista di sezione AA' si apprezza la distribuzione impiantistica, concentrata nel locale tecnico dedicato. Questo spazio ospita: la pompa di calore, l'unità di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) e il rack dati per la gestione dei flussi del sistema fotovoltaico. Il locale è posizionato strategicamente adiacente al corridoio, così da sfruttarne il controsoffitto (posto a un'altezza di 240 cm). Il corridoio, configurandosi come fulcro connettivo dell'abitazione, funge da anello distributivo, ma anche impiantistico. All'interno del controsoffitto transitano i canali di aerazione con sezione ribassata di 40x10 centimetri. Tale geometria, limitata a 10 centimetri di spessore, consente alle condotte di passare agevolmente al di sotto delle travi e di superare i vincoli strutturali del telaio del modulo Dado, raggiungendo capillarmente ogni ambiente sia con i flussi della VMC sia con quelli della pompa di calore.



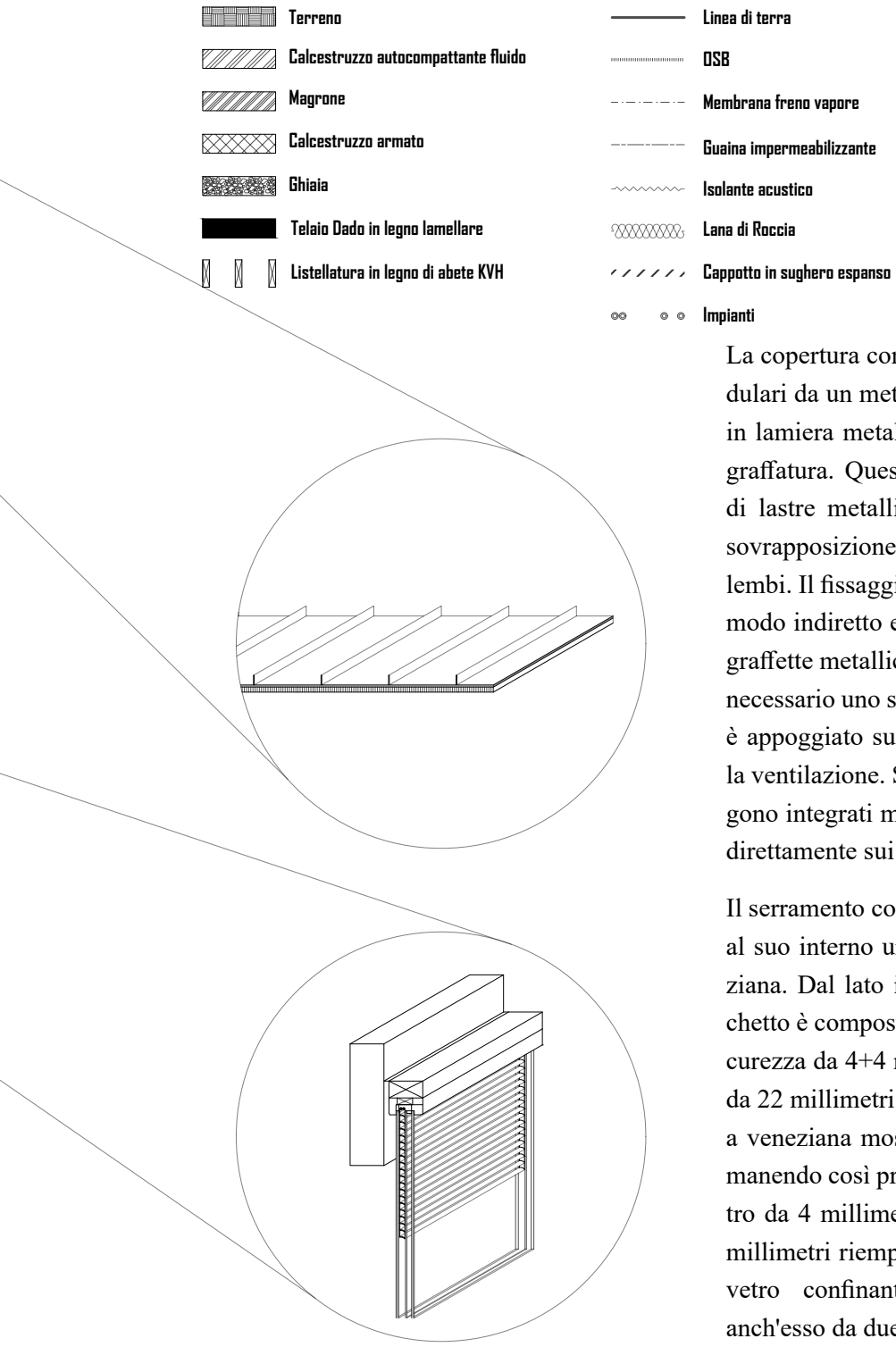
La sezione BB' illustra l'integrazione della vasca prefabbricata in cemento, che costituisce il primo "specchio d'acqua", con il complesso edificato. La platea di fondazione in cemento armato viene realizzata strutturalmente indipendente rispetto a quella dell'abitazione. Sopra di essa è posato il blocco prefabbricato di contenimento perimetrale. L'impermeabilizzazione interna è garantita da un telo continuo impermeabile che arriva fino al bordo delle pareti dove risvolta. Qui viene fissato da una lastra perimetrale di coronamento in acciaio Corten. Quest'ultimo materiale caratterizza anche la "sorgente" soprastante, rivestita in pietra e tassellata alla struttura in cemento.




NODO B Copertura
+3,00 m


NODO A Fondazioni - Solaio - Parete vetrata
+0,00 m
-0,86 m
-1,00 m

1.6 Viste nodo Fondazione - Solaio - Parete vetrata - Copertura (Fig. 05.01.169)



La copertura composta dai pannelli solaio modulari da un metro è finita con un rivestimento in lamiera metallica con sistema a doppia aggraffatura. Questa soluzione prevede l'unione di lastre metalliche preprofilate attraverso la sovrapposizione e la ripiegatura meccanica dei lembi. Il fissaggio alla sottostruttura avviene in modo indiretto e a scomparsa tramite apposite graffette metalliche. Al di sotto della lamiera, è necessario uno strato continuo di OSB, il quale è appoggiato sull'orditura lignea per garantire la ventilazione. Sulla parte esterna, infine, vengono integrati morsetti e barre paraneve fissati direttamente sui rilievi delle aggraffature.

Il serramento con vetrata a tutta altezza integra al suo interno una schermatura solare a veneziana. Dal lato interno verso l'esterno, il pacchetto è composto da un vetro stratificato di sicurezza da 4+4 millimetri, da un'intercapedine da 22 millimetri nella quale è presente la tenda a veneziana mossa da un motore elettrico (rimanendo così protetta dalla polvere), da un vetro da 4 millimetri, da un'intercapedine da 12 millimetri riempita con gas Argon e infine dal vetro confinante con l'esterno, composto anch'esso da due lastre da 4+4 millimetri.



Fig. 05.01.169 - Pianta Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

1.7 Le fasi di montaggio:

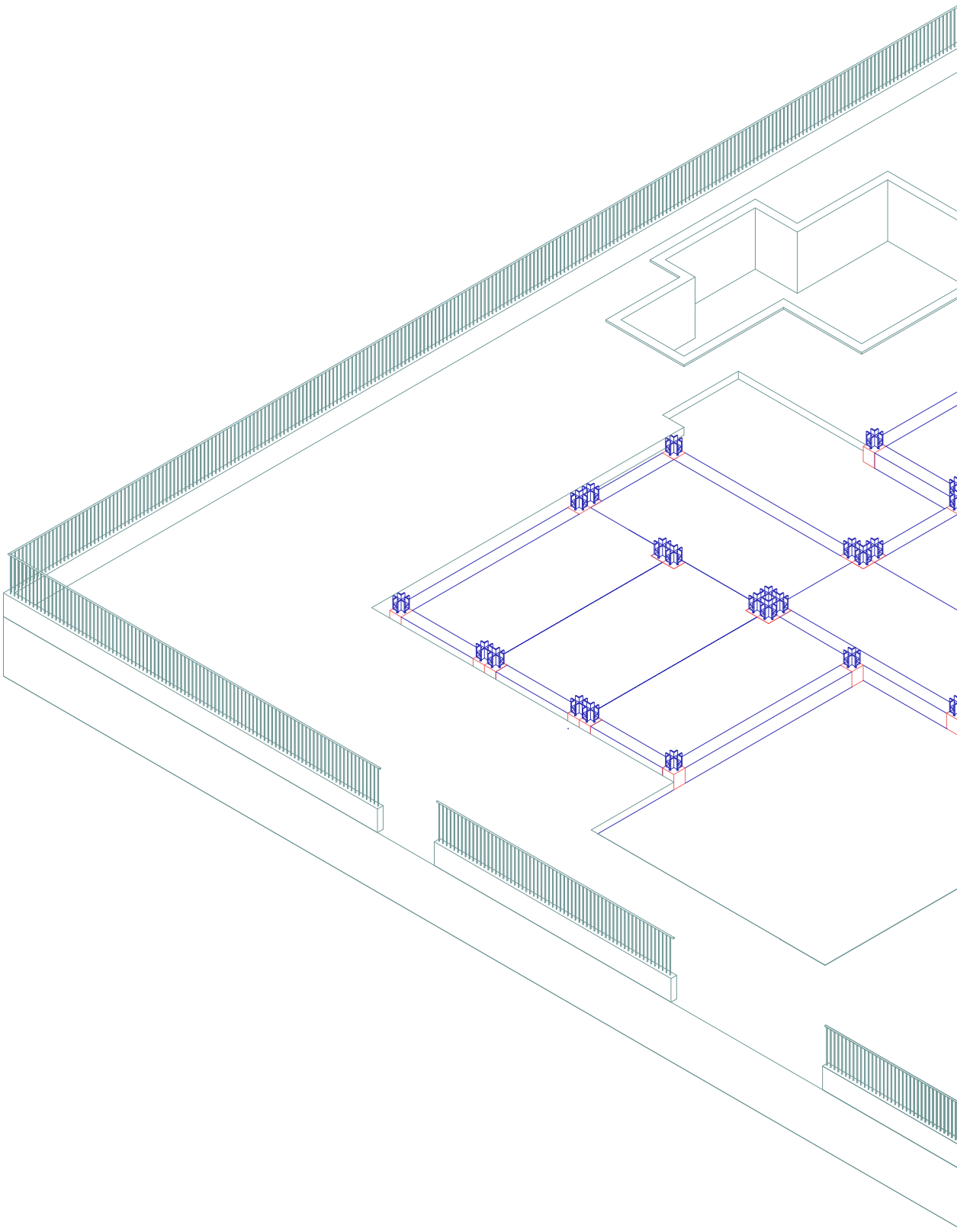
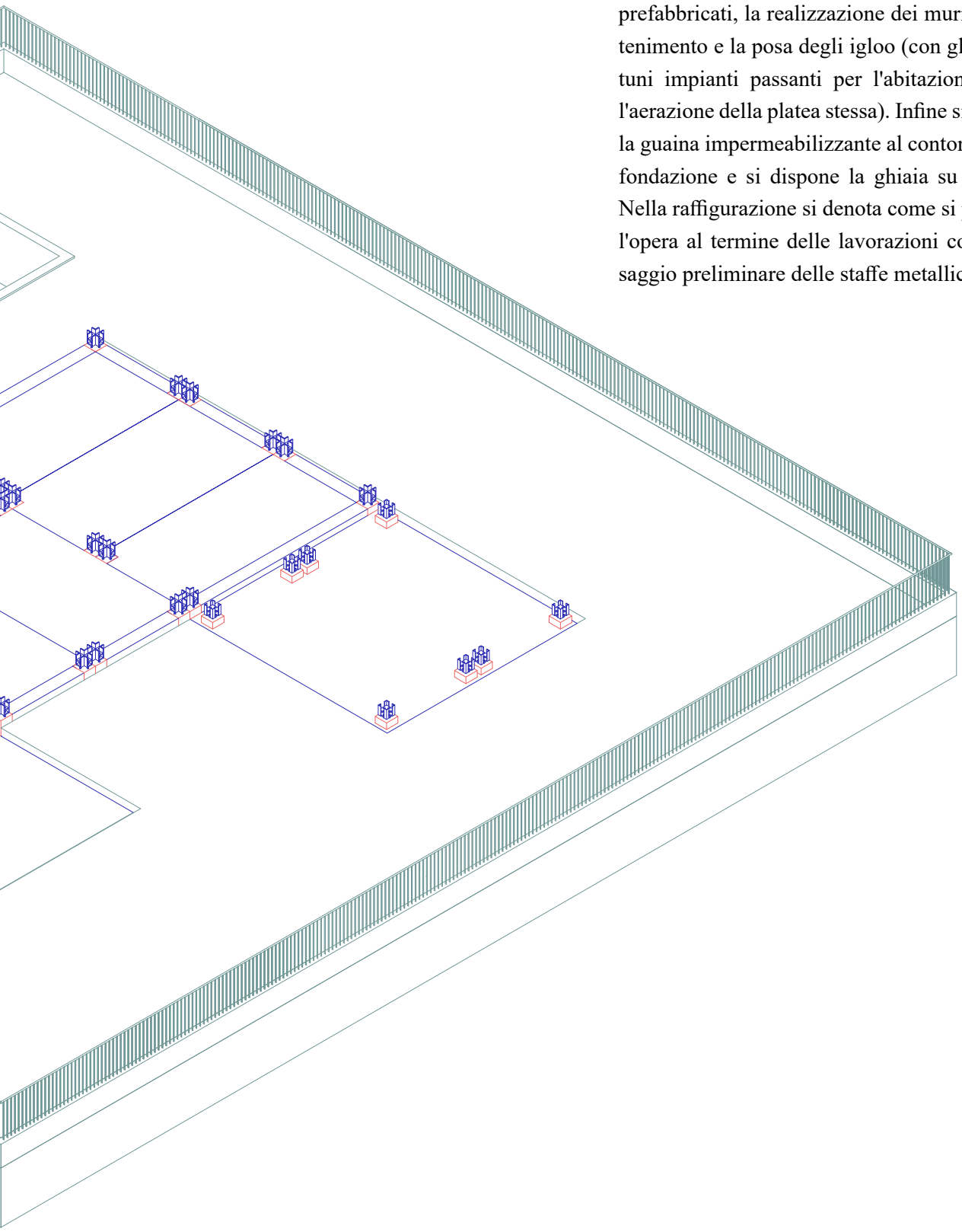


Fig. 05.01.170 - Preparazione del sito. (elaborazione dell'autore).

Preparazione del sito (Fig. 05.01.170)

La fase prevede le opere di scavo, la realizzazione del magrone, la disposizione dei plinti prefabbricati, la realizzazione dei muri di contenimento e la posa degli igloo (con gli opportuni impianti passanti per l'abitazione e per l'aerazione della platea stessa). Infine si applica la guaina impermeabilizzante al contorno della fondazione e si dispone la ghiaia su di essa. Nella raffigurazione si denota come si presenta l'opera al termine delle lavorazioni con il fissaggio preliminare delle staffe metalliche.



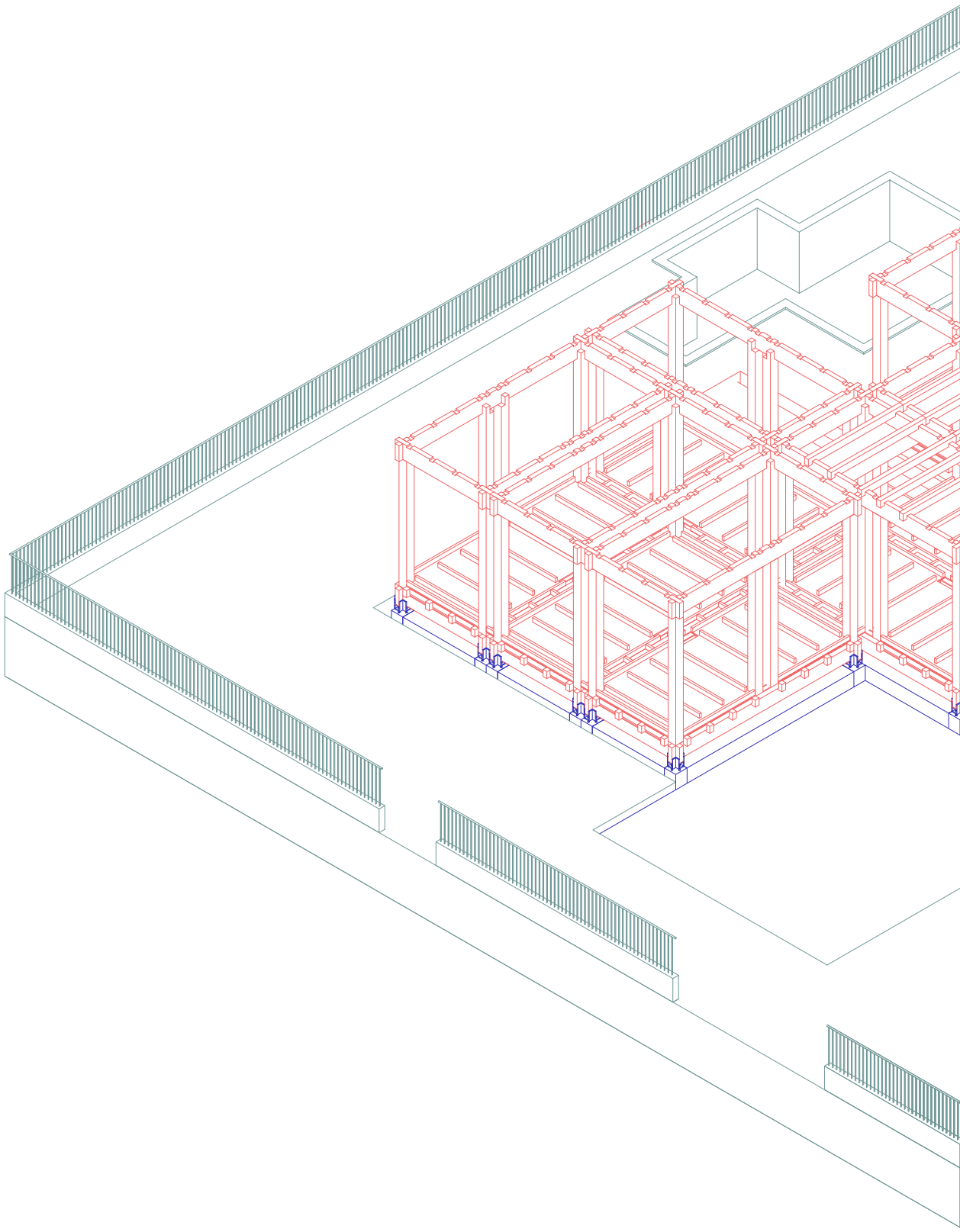
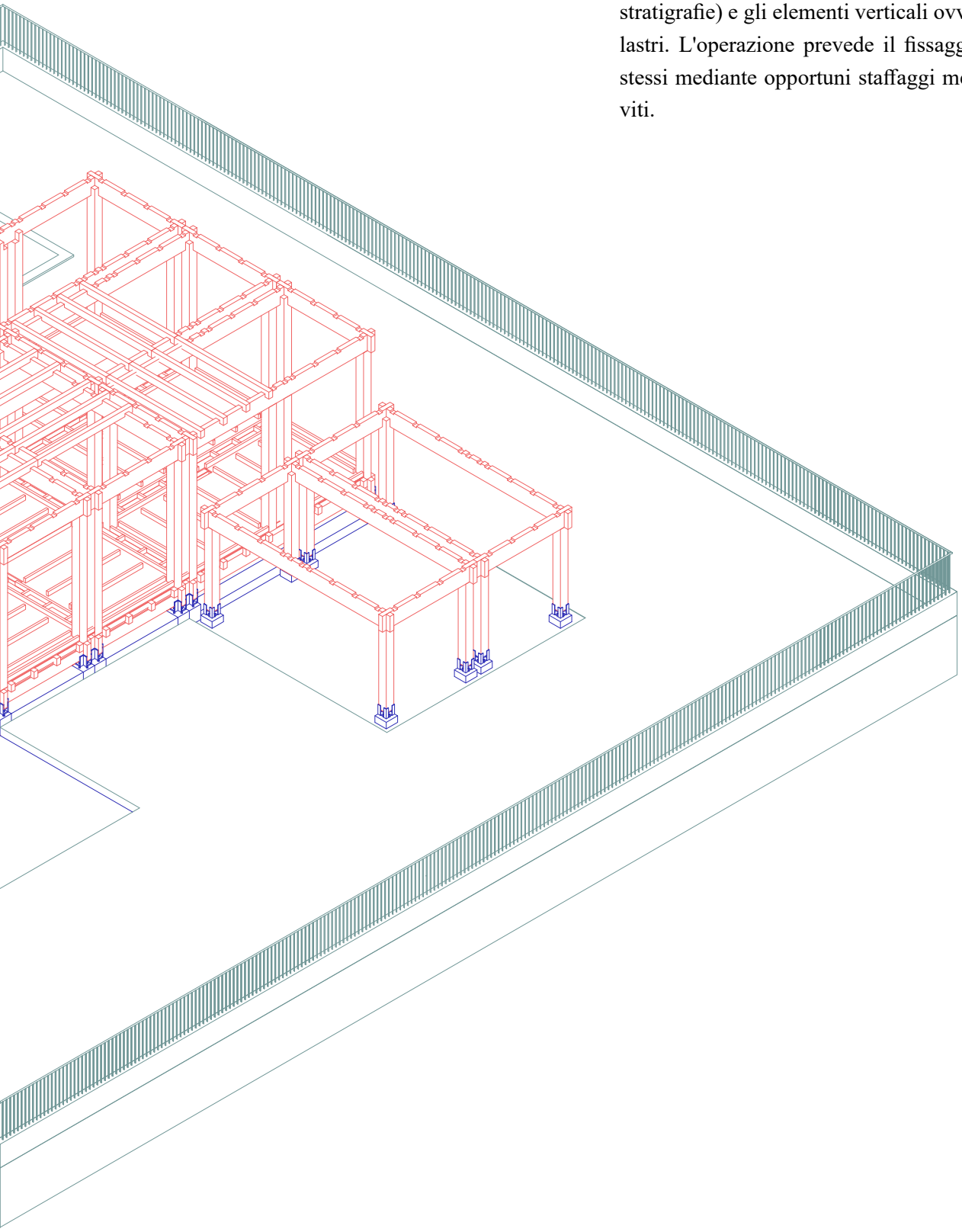


Fig. 05.01.171 - Posa dei moduli Dado. (elaborazione dell'autore).

Posa dei moduli Dado (Fig. 05.01.171)

La fase prevede la posa degli elementi orizzontali, ovvero i telai solaio (comprensivo delle stratigrafie) e gli elementi verticali ovvero i pilastri. L'operazione prevede il fissaggio degli stessi mediante opportuni staffaggi metallici e viti.



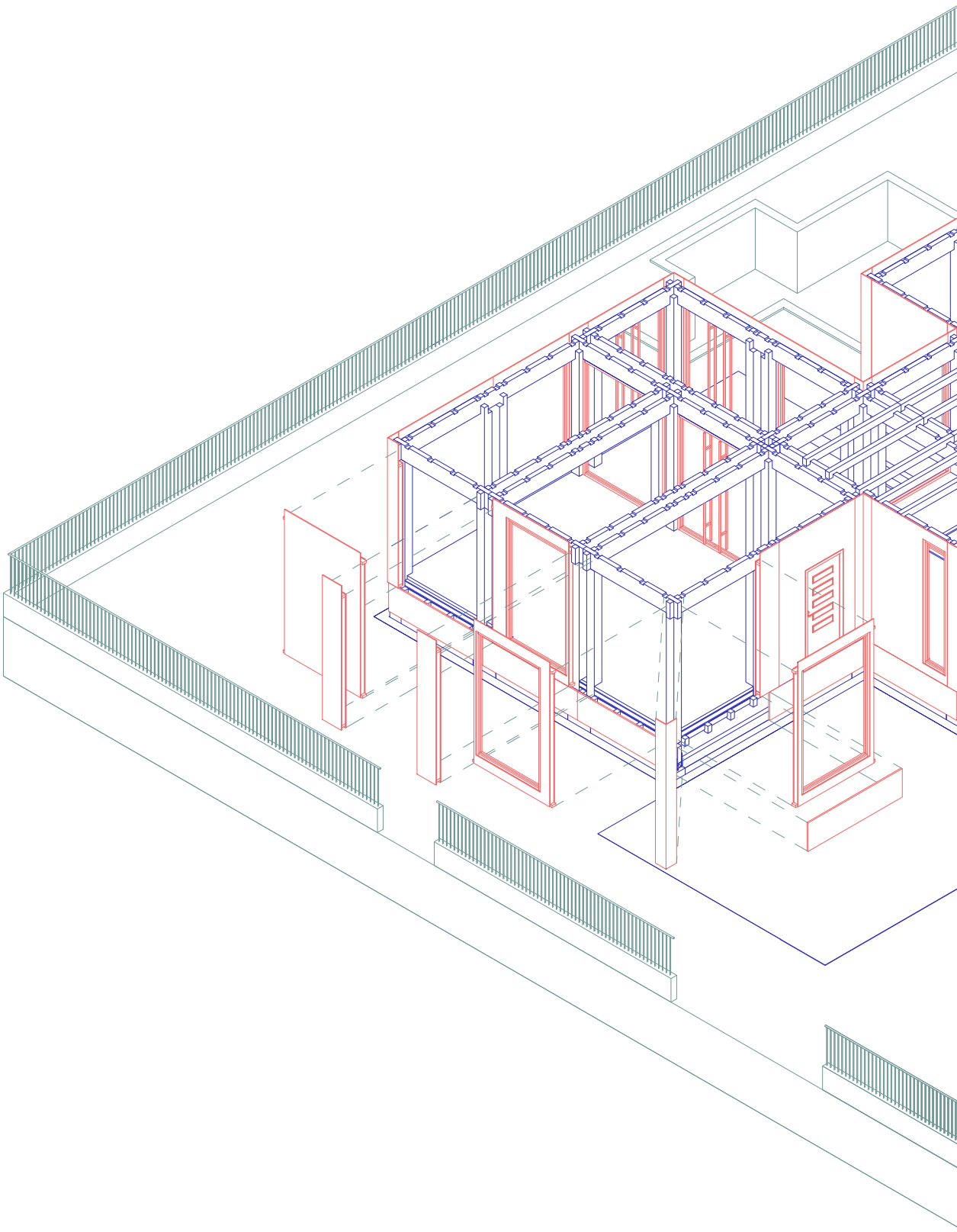
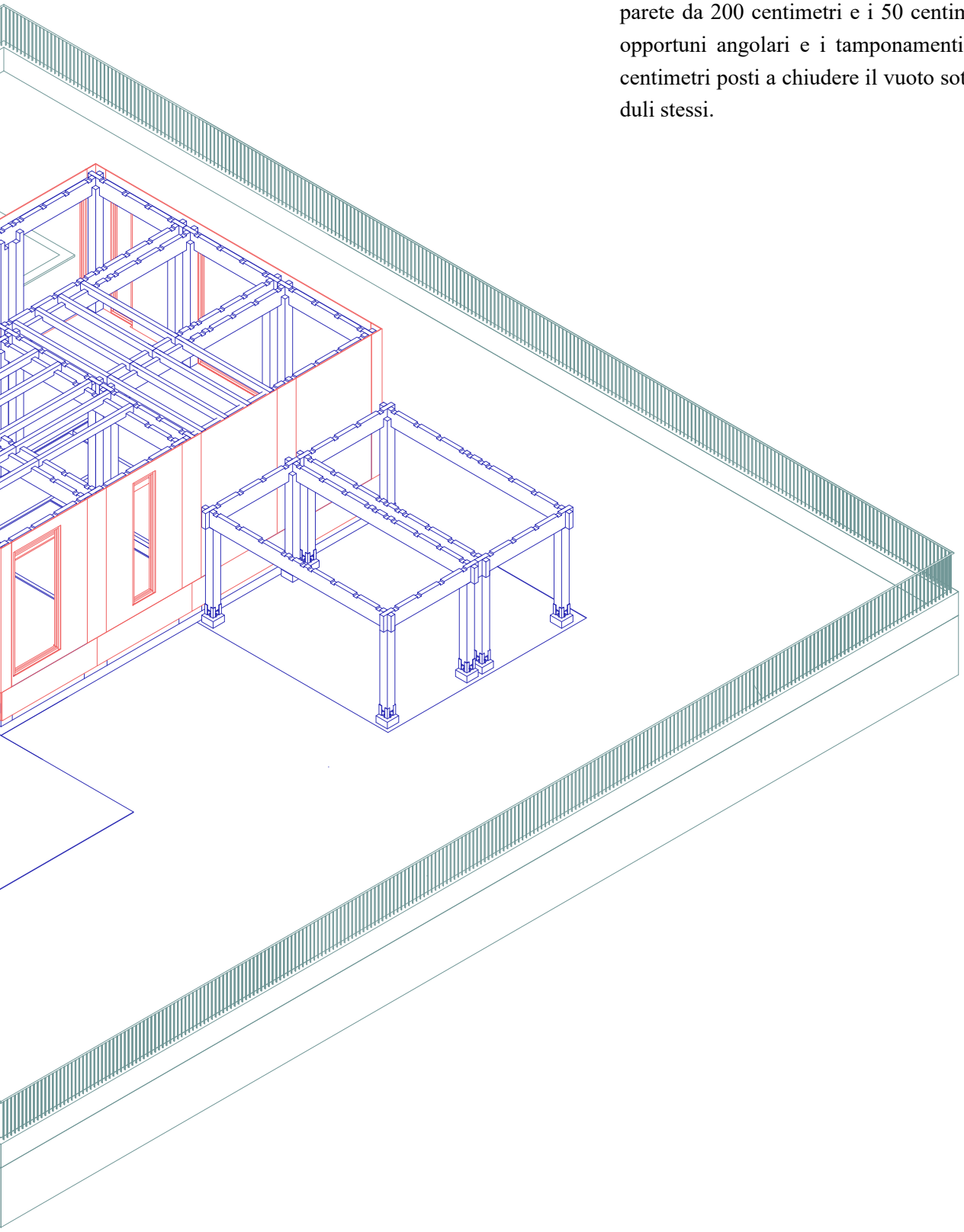


Fig. 05.01.172 - Posa e fissaggio dei tamponamenti. (elaborazione dell'autore).

Posa e fissaggio dei tamponamenti (Fig. 05.01.172)

La fase prevede il posizionamento e il fissaggio dei tamponamenti pareti, nello specifico i pezzi parete da 200 centimetri e i 50 centimetri, gli opportuni angolari e i tamponamenti da 250 centimetri posti a chiudere il vuoto sotto i moduli stessi.



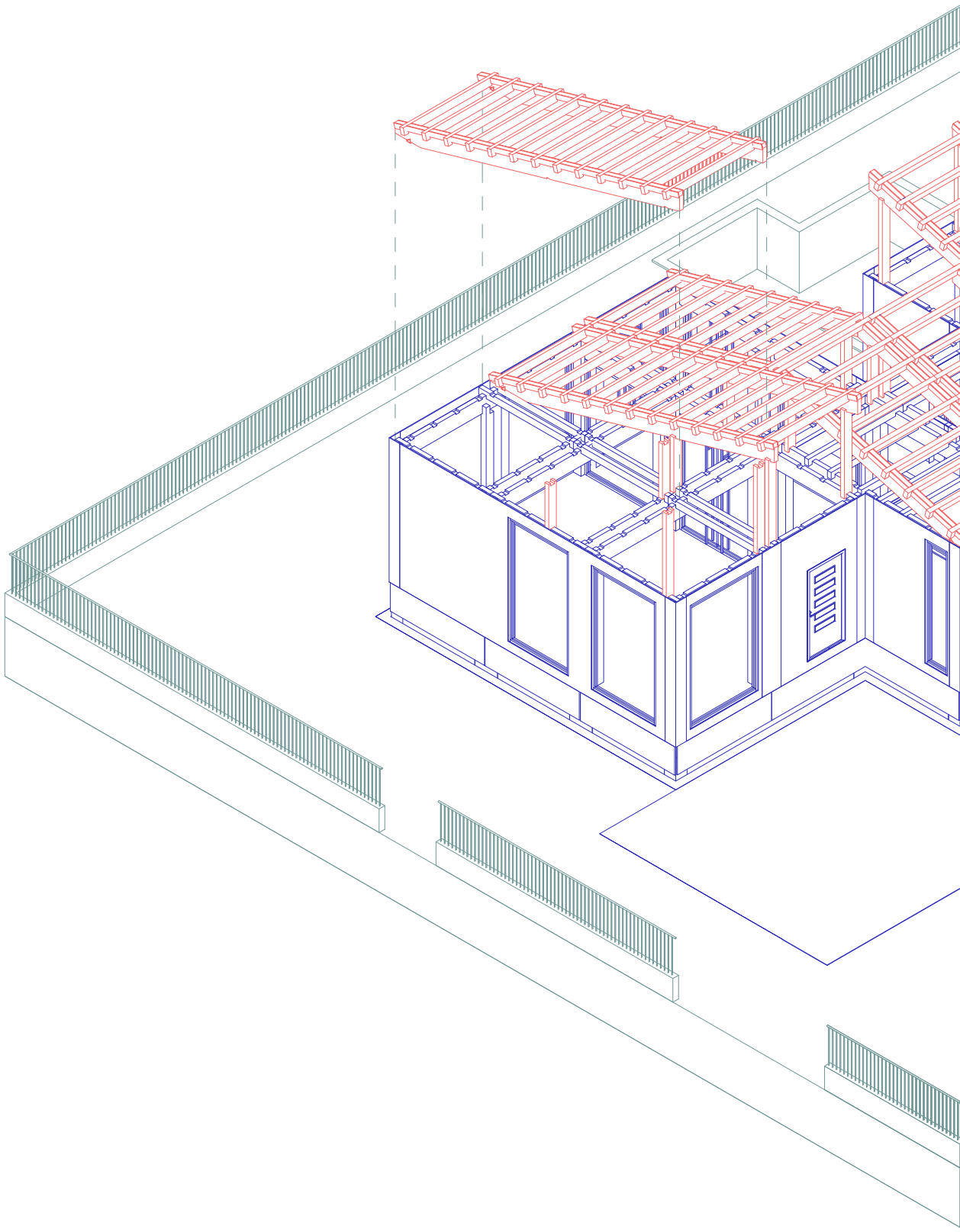
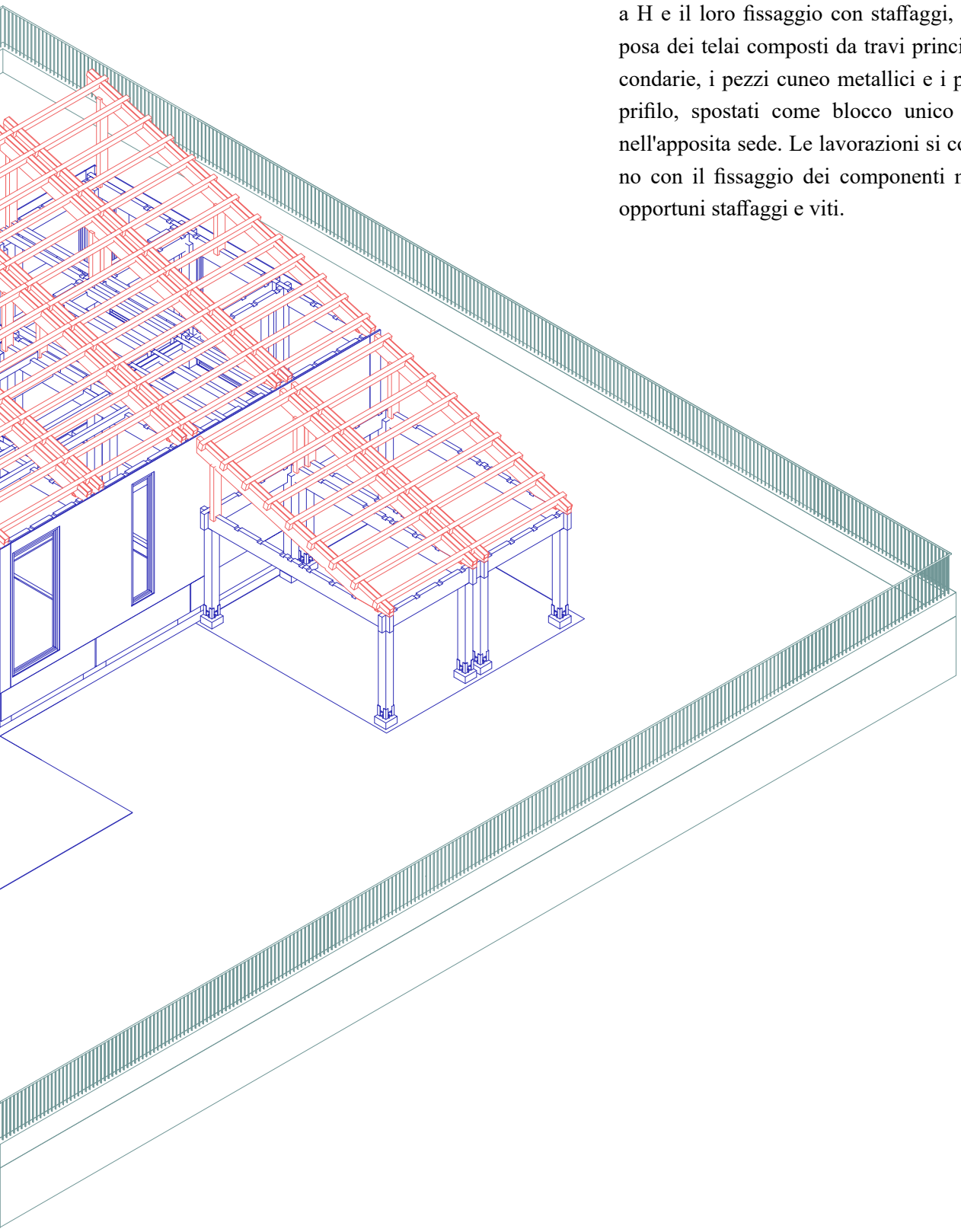


Fig. 05.01.173 - Posa della struttura della copertura. (elaborazione dell'autore).

Posa della struttura della copertura (Fig. 05.01.173)

La fase prevede la posa della struttura della copertura, partendo dal posizionamento dai pezzi a H e il loro fissaggio con staffaggi, segue la posa dei telai composti da travi principali, secondarie, i pezzi cuneo metallici e i pezzi coprifilo, spostati come blocco unico e calati nell'apposita sede. Le lavorazioni si concludono con il fissaggio dei componenti mediante opportuni staffaggi e viti.



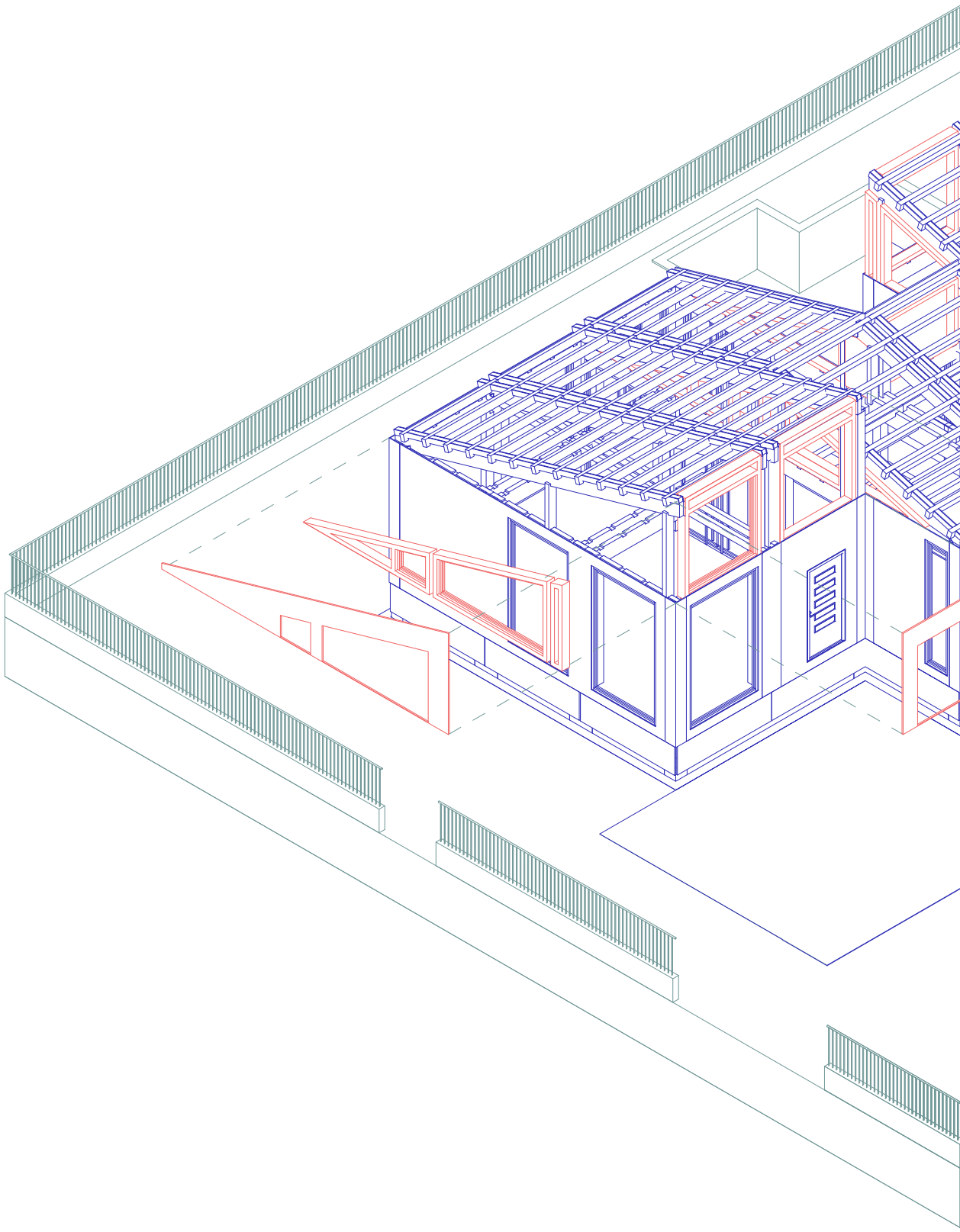
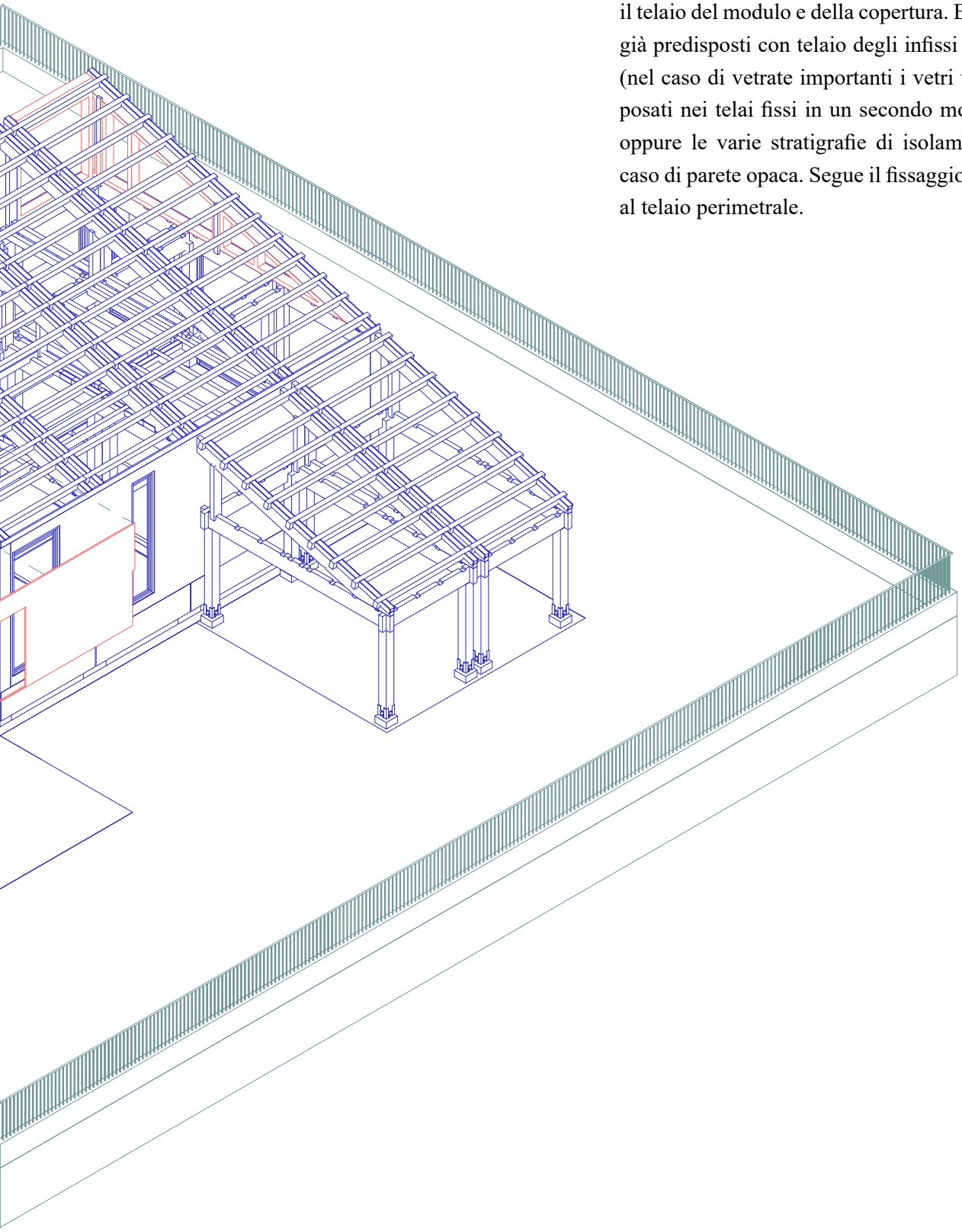


Fig. 05.01.174 - Posa e fissaggio delle tamponature della copertura. (elaborazione dell'autore).

Posa e fissaggio delle tamponature della copertura (Fig. 05.01.174)

La fase prevede il posizionamento dei pezzi denominati "cassetto" nelle opportune sedi fra il telaio del modulo e della copertura. Essi sono già predisposti con telaio degli infissi montato (nel caso di vetrate importanti i vetri vengono posati nei telai fissi in un secondo momento), oppure le varie stratigrafie di isolamento nel caso di parete opaca. Segue il fissaggio con viti al telaio perimetrale.



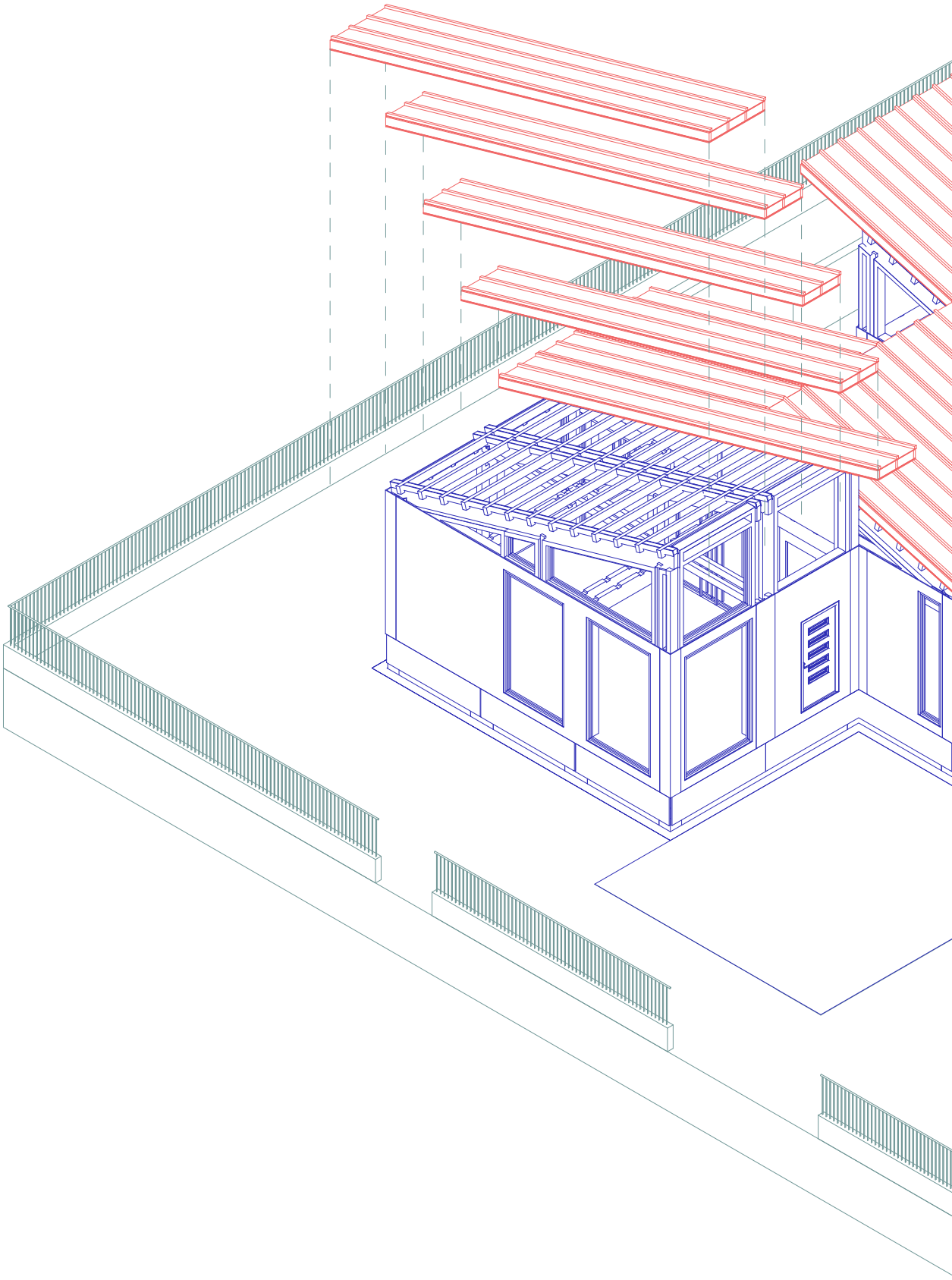
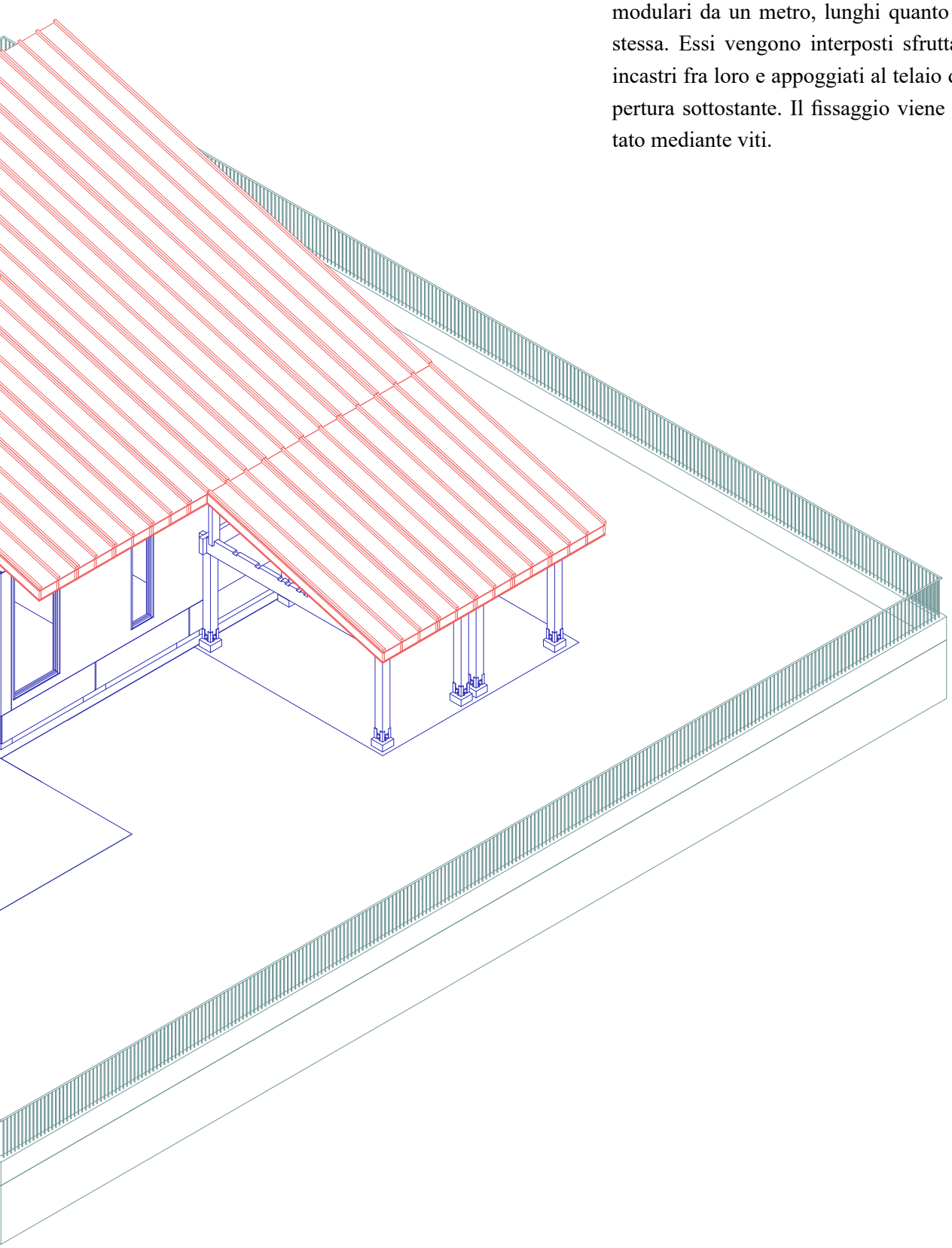


Fig. 05.01.175 - Posa e fissaggio della copertura modulare. (elaborazione dell'autore).

Posa e fissaggio della copertura modulare (Fig. 05.01.175)

La fase prevede la posa dei pezzi copertura modulari da un metro, lunghi quanto la falda stessa. Essi vengono interposti sfruttando gli incastri fra loro e appoggiati al telaio della copertura sottostante. Il fissaggio viene completato mediante viti.



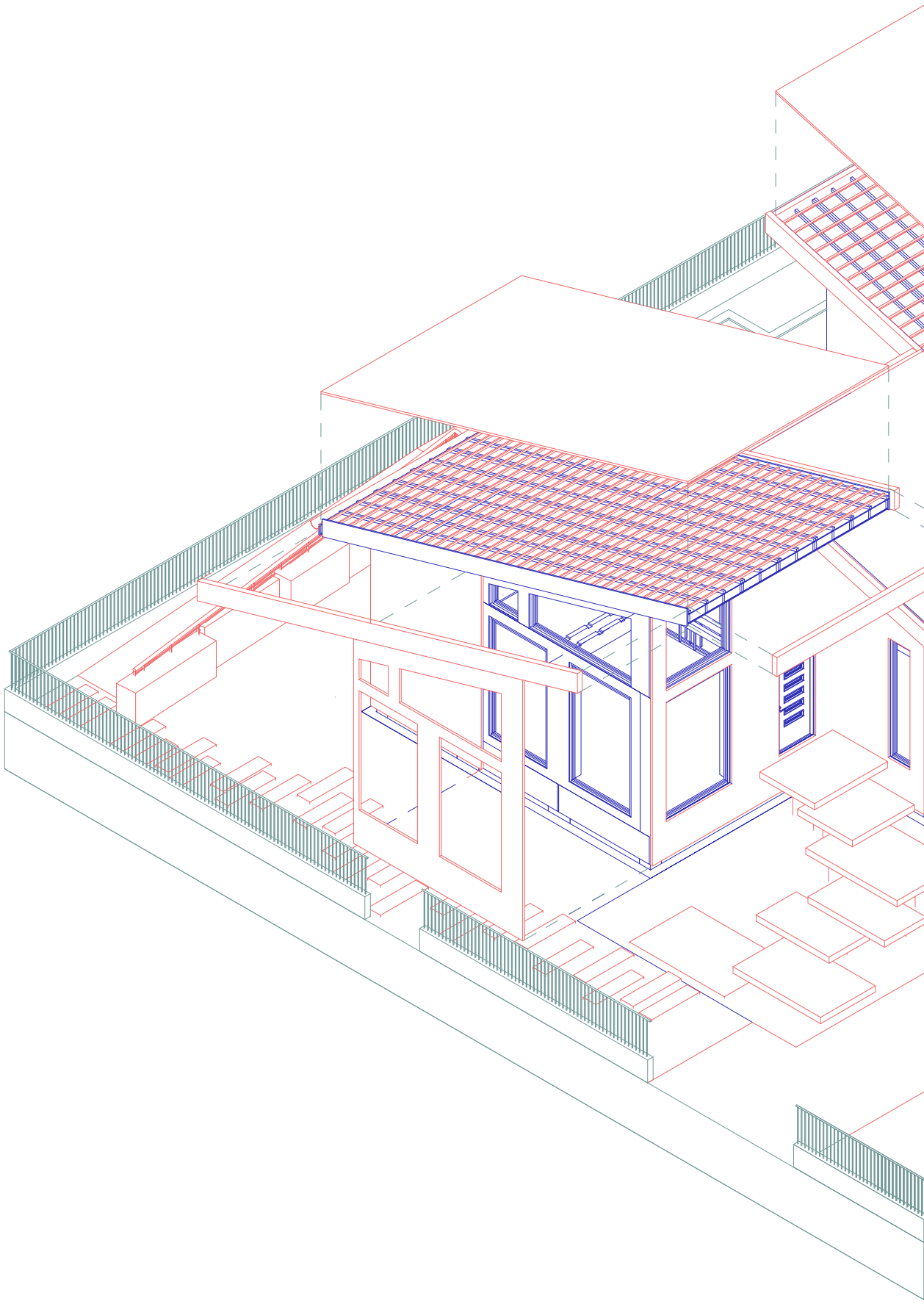
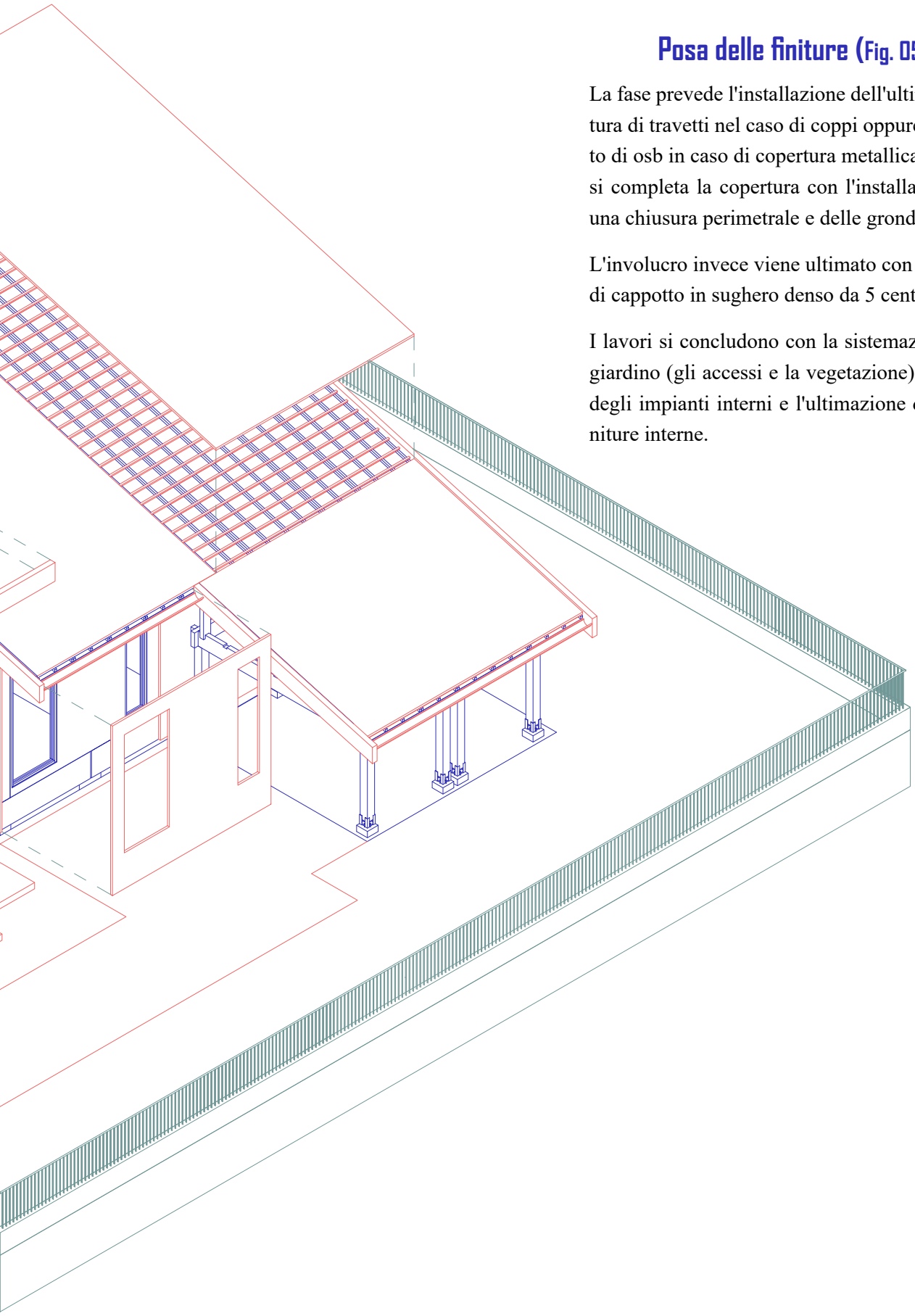


Fig. 05.01.176 - Posa delle finiture. (elaborazione dell'autore).



Posa delle finiture (Fig. 05.01.176)

La fase prevede l'installazione dell'ultima orditura di travetti nel caso di coppi oppure di strato di osb in caso di copertura metallica. Inoltre si completa la copertura con l'installazione di una chiusura perimetrale e delle gronde.

L'involucro invece viene ultimato con lo strato di cappotto in sughero denso da 5 centimetri.

I lavori si concludono con la sistemazione del giardino (gli accessi e la vegetazione), la posa degli impianti interni e l'ultimazione delle finiture interne.

1.8 Abaco degli elementi Dado di Villa Smeraldo

LEGENDA FINE VITA DEL MATERIALE
RIUSO RICICLO SMALTIMENTO

Computo Pezzi Fondazione DADO (Fig. 05.01.177)

	PEZZO	Famiglia	Tipo	Conteggio	Materiale: Nome	Materiale: Area	Materiale: Volume
Cordoli perimetrali	F.35.20./	Muro di base	35.20./	17	Calcestruzzo gettato in opera	<variabile>	3.136 m³
Elementi Plinti prefab.	F.35.30.30	Blocco C.a. prefab. 35x30x30	35.30.30	44	C.A. Prefabbricato	0.60 m²	1.386 m³
Ghiaia	F. 20.20./	Muro di base	20.20./	10	Ghiaia	<variabile>	2.342 m³
Blocchi prefab. C.A.	F. blocco C.A. prefab.	Muro di base	Blocco prefab. c.a. portanti	18	Cemento prefabbricato	<variabile>	13.163 m³
Lastra prefab. C.A.	F. lastra C.A. prefab.	Pavimento	Blocco prefab. c.a. 15 cm	64	Cemento prefabbricato	<variabile>	11.808 m³
Rampa inclinazione 8%	F. rampa 8%	Pavimento	Rampa 8%	1	Geotessile	14.71 m²	0.000 m³
	F. rampa 8%	Pavimento	Rampa 8%	1	Ghiaia	14.71 m²	2.943 m³
	F. rampa 8%	Pavimento	Rampa 8%	1	Ghiaia resinata	14.71 m²	0.368 m³
Strada carrabile	F. strada carrabile	Tetto di base	Strada carrabile	1	Geotessile	86.46 m²	0.000 m³
	F. strada carrabile	Tetto di base	Strada carrabile	1	Ghiaia	86.46 m²	4.323 m³
	F. strada carrabile	Tetto di base	Strada carrabile	1	Ghiaia stabilizzata	86.46 m²	25.937 m³
Terreno di riporto	F. terreno di riporto	Pavimento	21././	1	Terreno di riporto	42.04 m²	8.829 m³
Vasca prefab. C.A.	F. vasca prefab. c.a.	Muro di base	Vasca blocco prefab. c.a.	2	Calcestruzzo	<variabile>	2.743 m³
Magrone fluido	F././.5	Pavimento	/./.5	2	Calcestruzzo autocompattante fluido	<variabile>	10.833 m³
Magrone	F././.10	Pavimento	/./.10	2	Magrone	<variabile>	21.700 m³
Vespaio aerato	F././.35	Pavimento	Vespaio aerato	9	Calcestruzzo, gettato in opera	<variabile>	5.074 m³
	F././.35	Pavimento	Vespaio aerato	9	Igloo	<variabile>	30.445 m³

Fig. 05.01.177 - Abaco degli elementi fondazione impiegati. (elaborazione dell'autore).

Computo Pezzi Modulo DADO (Fig. 05.01.178)

	PEZZO	Famiglia	Tipo	Conteggio	Materiale: Nome	Materiale: Area	Materiale: Volume
Trave secondaria	M.16.10.250	Trave 16x10x250	16.10.250	54	Legno Lamellare	1.33 m²	2.122 m³
Trave secondaria di bordo	M.16.10.250.1	Trave 16x10x250 tipo 1	16.10.250.1	18	Legno Lamellare	2.14 m²	1.028 m³
Pilastro per autorimesse	M.20.20.210	Pilastro 20x20x210	20.20.210	8	Legno Lamellare	1.67 m²	0.622 m³
Pilastro	M.20.20.330	Pilastro 20x20x330	20.20.330	48	Legno Lamellare	2.58 m²	5.818 m³
Staffa metallica per pilastro	M.20.20.20	Staffa metallica 20x20x20	20.20.20	8	Acciaio	0.49 m²	0.022 m³
Staffa metallica	M.30.30.20	Staffa metallica 30x30x20	30.30.20	36	Acciaio	0.69 m²	0.192 m³
Trave principale da 2,5 metri	M.36.10.250	Trave 36x10x250	36.10.250	40	Legno Lamellare	2.37 m²	3.400 m³
Trave principale da 5 metri	M.36.10.500	Trave 36x10x500	36.10.500	40	Legno Lamellare	4.67 m²	6.916 m³

Fig. 05.01.178 - Abaco degli elementi dei moduli impiegati. (elaborazione dell'autore).

Computo Pezzi Solaio DADO (Fig. 05.01.179)

	PEZZO	Famiglia	Tipo	Conteggio	Materiale: Nome	Materiale: Area	Materiale: Volume
Coprifilo	S.9.10.50	Coprifilo 9x10x50	9.10.50	177	Legno di abete KVH	0.21 m²	0.797 m³
	S.9.10.50	Coprifilo 9x10x50	9.10.50	177	Pannello OSB	0.27 m²	0.305 m³
	S.9.10.60	Coprifilo 9x10x60	9.10.60	18	Legno di abete KVH	0.25 m²	0.097 m³
	S.9.10.60	Coprifilo 9x10x60	9.10.60	18	Pannello OSB	0.32 m²	0.037 m³
Listellatura del vano impianti	S.10.5.20	Telaio vano impiantistico 10x5x20	10.5.20	80	Legno di abete KVH	0.07 m²	0.080 m³
	S.10.5.190	Telaio vano impiantistico 10x5x190	10.5.190	126	Legno di abete KVH	0.58 m²	1.197 m³
Isolamento	S.50.210.16	Pavimento	50.210.16	54	Lana di roccia	1.05 m²	9.072 m³
	S.60.210.16	Pavimento	60.210.16	9	Lana di roccia	1.26 m²	1.814 m³
Controsoffitto verticale	S.120.250.1,2	Muro di base	1././	2	Cartongesso	0.79 m²	0.016 m³
Stratigrafia del solaio	S.480.230.1,5	Pavimento	480.230.1,5	9	Pannello OSB	10.64 m²	2.107 m³
	S.480.230.1,8	Pavimento	480.230.1,8	18	Pannello OSB	<variabile>	1.861 m³
	S.480.230.2,2	Pavimento	480.230.2,2	20	Pannello OSB	<variabile>	3.284 m³
	S.480.230.7,3	Pavimento	480.230.0,03	1	Finitura pavimento	98.79 m²	1.976 m³
	S.480.230.7,3	Pavimento	480.230.0,03	1	Sistema radiante	98.79 m²	4.940 m³
	S.480.230.7,3	Pavimento	480.230.0,03	1	Tappetino anticalpestio	98.79 m²	0.296 m³
Controsoffitto orizzontale	S.Controsoffitto	Controsoffitto di base	Controsoffitto	2	Cartongesso	<variabile>	0.000 m³

Fig. 05.01.179 - Abaco degli elementi solaio impiegati. (elaborazione dell'autore).

Computo Pezzi Parete DADO (Fig. 05.01.180)

	PEZZO	Famiglia	Tipo	Conteggio	Materiale: Nome	Materiale: Area	Materiale: Volume
Profili metallici a C	P.5.5.250	Profilo a C 5x5x270	5.5.270	94	Alluminio	0.79 m²	0.110 m³
Elementi parete angolari	P.15.15.320.13	Muro di base	5.270.10	9	Lana di roccia	<variabile>	0.300 m³
	P.15.15.320.13	Muro di base	15.280.0,5	6	Membrana barriera vapore	0.67 m²	0.020 m³
	P.15.15.320.13	Muro di base	15.310.1,5	6	Pannello OSB	<variabile>	0.086 m³
	P.15.15.320.13	Muro di base	28.320.1,5	6	Pannello OSB	<variabile>	0.068 m³
	P.15.15.320.13	Telaio parete angolo10x5x270	10.5.270	12	Legno di abete KVH	0.82 m²	0.162 m³
	P.15.15.320.13	Telaio parete angolo 10x5x15x15	10.5.15.15	6	Legno di abete KVH	0.18 m²	0.017 m³
Elementi parete angolari	P.28.28.320.13	Muro di base	5.270.10	21	Lana di roccia	0.18 m²	0.369 m³
	P.28.28.320.13	Muro di base	13.270.10	7	Lana di roccia	0.27 m²	0.189 m³
	P.28.28.320.13	Muro di base	15.280.0,5	14	Membrana barriera vapore	<variabile>	0.033 m³
	P.28.28.320.13	Muro di base	15.310.1,5	14	Pannello OSB	<variabile>	0.093 m³
	P.28.28.320.13	Muro di base	28.320.1,5	14	Pannello OSB	<variabile>	0.189 m³
	P.28.28.320.13	Telaio parete angolo10x5x270	10.5.270	28	Legno di abete KVH	0.82 m²	0.378 m³
	P.28.28.320.13	Telaio parete angolo 10x5x28x28	10.5.28.28	14	Legno di abete KVH	0.14 m²	0.030 m³
Elementi parete da 50	P.50.320.13	Muro di base	40.300.10	12	Lana di roccia	1.16 m²	1.392 m³
	P.50.320.13	Muro di base	50.305.0,5	12	Membrana barriera vapore	<variabile>	0.092 m³
	P.50.320.13	Muro di base	50.305.1,5	12	Pannello OSB	1.53 m²	0.275 m³
	P.50.320.13	Muro di base	50.320.1,5	12	Pannello OSB	1.65 m²	0.297 m³
	P.50.320.13	Telaio parete 10x5x50	10.5.50	24	Legno di abete KVH	0.16 m²	0.060 m³
	P.50.320.13	Telaio parete 10x5x290	10.5.290	24	Legno di abete KVH	0.88 m²	0.348 m³
Cappotto	P.100.50.5,4	Muro di base	/./.5,4	17	Rasatura	<variabile>	0.820 m³
	P.100.50.5,4	Muro di base	/./.5,4	17	Sughero espanso	<variabile>	10.252 m³
Elementi parete da 200	P.200.320.13	Muro di base	60.300.10	34	Lana di roccia	<variabile>	5.496 m³
	P.200.320.13	Muro di base	200.310.0,5	22	Membrana barriera vapore	<variabile>	0.378 m³
	P.200.320.13	Muro di base	200.310.1,5	22	Pannello OSB	<variabile>	1.171 m³
	P.200.320.13	Muro di base	200.320.1,5	22	Pannello OSB	<variabile>	1.275 m³
	P.200.320.13	Telaio parete 10x5x210	10.5.210	44	Legno di abete KVH	0.64 m²	0.462 m³
	P.200.320.13	Telaio parete 10x5x300	10.5.300	84	Legno di abete KVH	0.91 m²	1.260 m³
Elementi parete da 250 copritelaio	P.250.65.13	Muro di base	210.10.10	22	Lana di roccia	0.21 m²	0.463 m³
	P.250.65.13	Muro di base	250.65.3	22	Pannello OSB	1.62 m²	1.066 m³
	P.250.65.13	Telaio parete 10x5x210	10.5.210	44	Legno di abete KVH	0.64 m²	0.462 m³
Controparete interna	P./.270.6.2	Muro di base	50.270.5	34	Lana di roccia	<variabile>	3.057 m³
	P./.270.6.2	Muro di base	120.264.1,2	43	Cartongesso	<variabile>	0.752 m³
Tramezze interne	P././.10	Muro di base	/./.10	19	Cartongesso	<variabile>	2.193 m³
	P././.10	Muro di base	/./.10	19	Lana di roccia	<variabile>	6.945 m³

Fig. 05.01.180 - Abaco degli elementi parete impiegati. (elaborazione dell'autore).

Computo Pezzi Copertura DADO (Fig. 05.01.181)

	PEZZO	Famiglia	Tipo	Conteggio	Materiale: Nome	Materiale: Area	Materiale: Volume
Listellatura 4x4 centimetri	C.4.4./	Listellatura copertura	4.4	129	Legno di abete	<variabile>	1.046 m³
Coprifilo	C.9.13.50	Coprifilo 9x10x50	9.10.50	1	Legno di abete KVH	0.21 m²	0.005 m³
	C.9.13.50	Coprifilo 9x10x50	9.10.50	1	Pannello OSB	0.27 m²	0.002 m³
	C.9.13.50	Coprifilo 9x13x25	9.13.25	26	Legno di abete KVH	0.11 m²	0.059 m³
	C.9.13.50	Coprifilo 9x13x25	9.13.25	26	Pannello OSB	0.14 m²	0.022 m³
	C.9.13.50	Coprifilo 9x13x50	9.13.50	176	Legno di abete KVH	0.21 m²	0.792 m³
	C.9.13.50	Coprifilo 9x13x50	9.13.50	176	Pannello OSB	0.27 m²	0.304 m³
Cuneo in acciaio	C.10.10.10	Cuneo in acciaio 10x10x10	10.10.10	18	Acciaio	0.07 m²	0.006 m³
Trave secondaria	C.16.10.250	Trave C16x10x250	16.10.250	97	Legno Lamellare	1.33 m²	3.812 m³
	C.16.10.250.1	Trave 16x10x250	16.10.250	18	Legno Lamellare	1.33 m²	0.707 m³
Trave secondaria a doppio intaglio	C.16.10.250.1	Trave C16x10x250 tipo 1	16.10.250.1	8	Legno Lamellare	1.33 m²	0.309 m³
Trave secondaria a doppio intaglio per cuneo in acciaio	C.16.10.250.2	Trave C16x10x250 tipo 2	16.10.250.2	4	Legno Lamellare	1.33 m²	0.154 m³
Supporto H	C.20.10./	Supporto H tipo 1	20.10./	4	Legno Lamellare	0.71 m²	0.086 m³
	C.20.10./	Supporto H tipo 3	20.10./	4	Legno Lamellare	1.25 m²	0.157 m³
	C.20.10./	Supporto H tipo 4	20.10./	4	Legno Lamellare	1.23 m²	0.155 m³
	C.20.10./	Supporto H tipo 5	20.10./	4	Legno Lamellare	0.80 m²	0.097 m³
	C.20.10./	Supporto H tipo 6	20.10./	6	Legno Lamellare	0.82 m²	0.149 m³
	C.20.10./	Supporto H tipo 7	20.10./	4	Legno Lamellare	0.78 m²	0.095 m³
Travi principali della copertura, di diversi intagli	C.32.10./	Trave 32x10 tipo 1	32.10./	4	Legno Lamellare	6.47 m²	0.952 m³
	C.32.10./	Trave 32x10 tipo 2	32.10./	6	Legno Lamellare	4.29 m²	0.940 m³
	C.32.10./	Trave 32x10 tipo 3	32.10./	4	Legno Lamellare	6.31 m²	0.923 m³
	C.32.10./	Trave 32x10 tipo 4	32.10./	4	Legno Lamellare	4.28 m²	0.621 m³
Stratigrafia dei moduli copertura da un metro	C.100.30./	Tetto di base	6.5./	73	Legno di abete	<variabile>	1.705 m³
	C.100.30./	Tetto di base	20.5./	73	Legno di abete KVH	<variabile>	5.683 m³
	C.100.30./	Tetto di base	90.20./	50	Lana di roccia	<variabile>	33.070 m³
	C.100.30./	Tetto di base	100./.0,05	23	Membrana barriera vapore	<variabile>	0.969 m³
	C.100.30./	Tetto di base	100./.1	23	Perlinato	<variabile>	1.938 m³
	C.100.30./	Tetto di base	100./.1,5	46	Pannello OSB	<variabile>	5.801 m³
Copri bordo della copertura	C./.45./	Muro di base	/./.13	10	Legno di abete	<variabile>	2.731 m³
	C./.45./	Muro di base	/./.13	10	Pannello OSB	<variabile>	0.819 m³
OSB di rivestimento dei cassetti	C././.3	Muro di base	/./.3	7	Pannello OSB	<variabile>	1.094 m³
Gli elementi cassetti	C././.20	Cassetto tipo 1	/./.20	4	Legno di abete KVH	5.99 m²	0.804 m³
	C././.20	Cassetto tipo 2	/./.20	3	Legno di abete KVH	5.92 m²	0.586 m³
	C././.20	Cassetto tipo 3	/./.20	1	Legno di abete KVH	3.92 m²	0.131 m³
	C././.20	Cassetto tipo 4	/./.20	2	Legno di abete KVH	1.57 m²	0.105 m³
	C././.20	Cassetto tipo 5	/./.20	2	Legno di abete KVH	11.87 m²	0.794 m³
	C././.20	Cassetto tipo 6	/./.20	1	Legno di abete KVH	12.70 m²	0.426 m³
	C././.20	Cassetto tipo 7	/./.20	1	Legno di abete KVH	6.82 m²	0.227 m³
	C././.20	Muro di base	/./.3	7	Pannello OSB	<variabile>	0.663 m³
	C././.20	Muro di base	/./.20	10	Lana di roccia	<variabile>	7.146 m³
	C././.20	Muro di base	/./.20	10	Membrana barriera vapore	<variabile>	0.000 m³
	C././.20	Muro di base	/./.20	10	Pannello OSB	<variabile>	0.536 m³
	C././.20	Muro di base	/./.20	10	Perlinato	<variabile>	0.357 m³
Finitura di rivestimento	C././.1	Tetto di base	/././	5	Finitura Copertura	<variabile>	1.943 m³

Fig. 05.01.181 - Abaco degli elementi copertura impiegati. (elaborazione dell'autore).

Computo Pezzi Infissi DADO (Fig. 05.01.182)

	PEZZO	Famiglia	Tipo	Conteggio	Materiale: Nome	Materiale: Area	Materiale: Volume
Facciata continua	I.60.280.10	Pannello sistema	Vetrato	1	Default - Vetro	1.26 m²	0.038 m³
	I.60./.10	Pannello sistema	Vetrato	2	Default - Vetro	<variabile>	0.031 m³
Porta interna	I.80.210.5	Porta - 1 Anta	80x210 cm	7	Legno di abete	4.84 m²	0.804 m³
Portoncino ingresso	I.100.220.10	Porta - 1 Anta	100x220	1	Alluminio	6.00 m²	0.147 m³
Vetrate facciata continua	I.170.280.10	Pannello sistema	Vetrato	3	Default - Vetro	<variabile>	0.402 m³
	I.180.280.10	Pannello sistema	Vetrato	8	Default - Vetro	<variabile>	1.050 m³
	I.180./.10	Pannello sistema	Vetrato	1	Default - Vetro	2.94 m²	0.088 m³
	I.300./.10	Pannello sistema	Vetrato	1	Default - Vetro	3.00 m²	0.090 m³
Porte a doppio battente vetrate della facciata continua	I.P.180.280.10	Vetro Doppia Anta	Vetro Doppia Anta	3	Vetro	<variabile>	0.578 m³

Fig. 05.01.182 - Abaco degli elementi infissi impiegati. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.183 - Vista render numero 1, salotto-cucina. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.184 - Vista render numero 2, salotto-cucina. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.185 - Vista render numero 3, salotto-cucina. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.186 - Vista render numero 4, salotto-cucina. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.187 - Vista render numero 5, sala pranzo. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.188 - Vista render numero 6, stanza smart-working. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.189 - Vista render numero 7, disimpegno (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.190 - Vista render numero 8, servizi. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.191 - Vista render numero 9, camera singola. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.192 - Vista render numero 10, camera doppia. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.193 - Vista render numero 11, camera doppia. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.194 - Vista render numero 12, camera doppia. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.195 - Vista render numero 13, bagno en suite della camera doppia. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.196 - Vista render numero 14, scalinate di accesso alla dimora. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.197 - Vista render numero 15, rampa di accesso per persone con difficoltà motorie. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.198 - Vista render numero 16, giardino con piscina, "specchi d'acqua" e "sorgente". (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.199 - Vista render numero 17, giardino con piscina, "specchi d'acqua" e "sorgente". (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.200 - Vista render numero 18, giardino con piscina, "specchi d'acqua" e "sorgente". (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.201 - Vista render numero 19, giardino retro abitazione. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.202 - Vista render numero 20, giardino retro abitazione. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.203 - Vista render numero 21, giardino retro abitazione, con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.204 - Vista render numero 22, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.205 - Vista render numero 23, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.206 - Vista render numero 24, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso in ore notturne. (elaborazione dell'autore).



Fig. 05.01.207 - Vista render numero 24, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso in ore diurne. (elaborazione dell'autore).





Fig. 05.01.208 - Vista render numero 25, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore notturne. (elaborazione dell'autore).





Fig. 05.01.209 - Vista render numero 25, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore diurne. (elaborazione dell'autore).



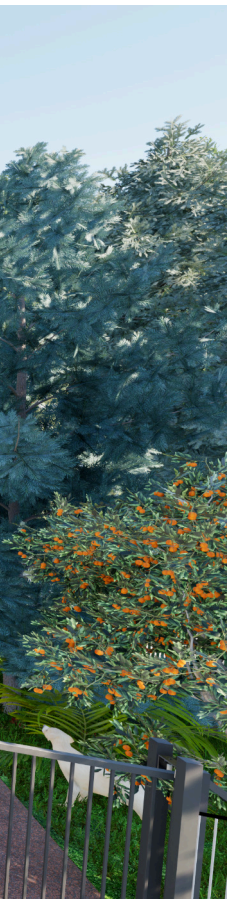


Fig. 05.01.210 - Vista render numero 26, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore notturne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).

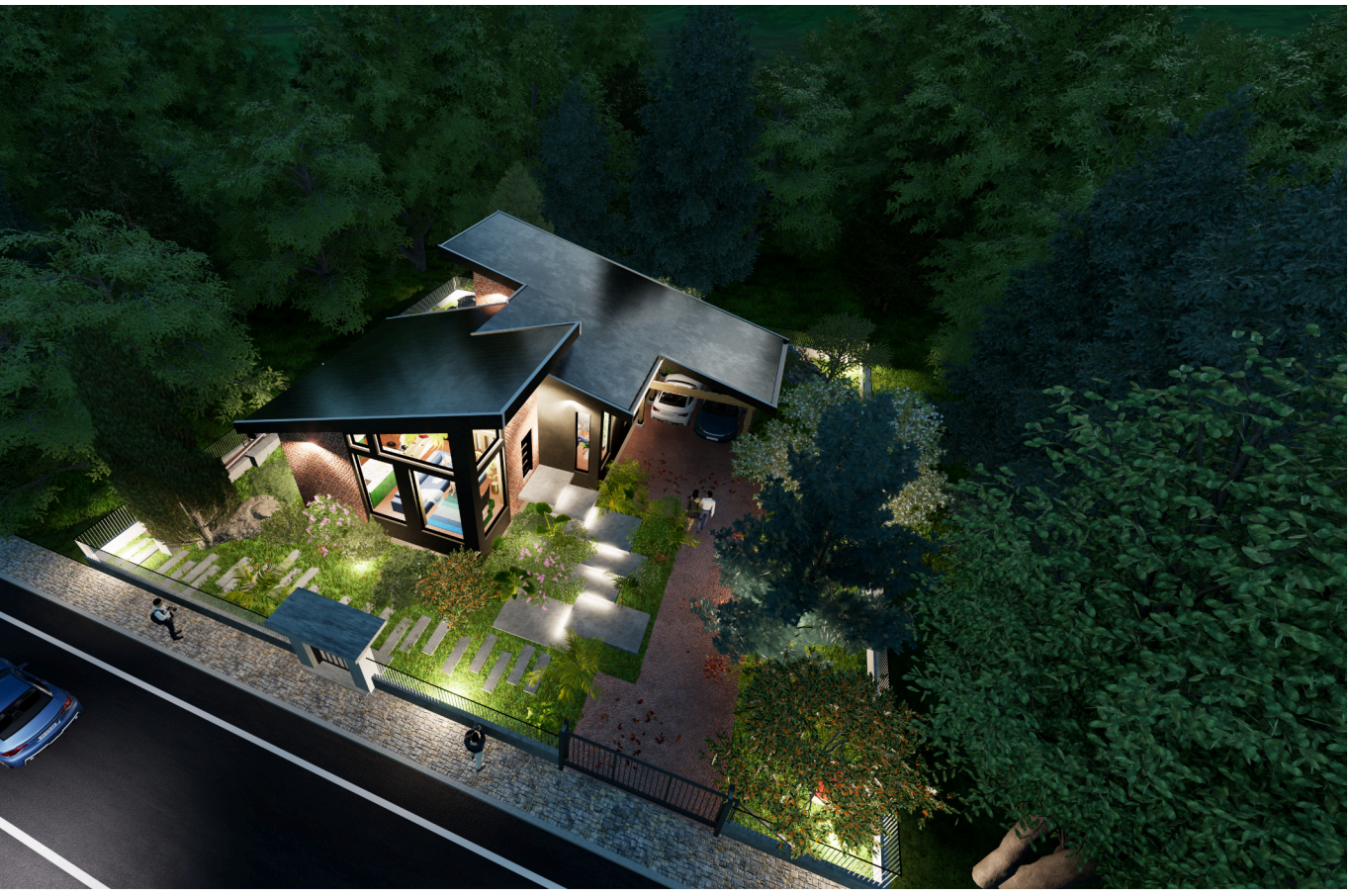




Fig. 05.01.211 - Vista render numero 26, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore diurne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).

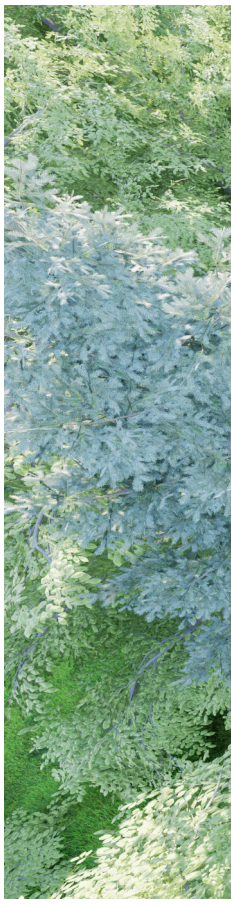
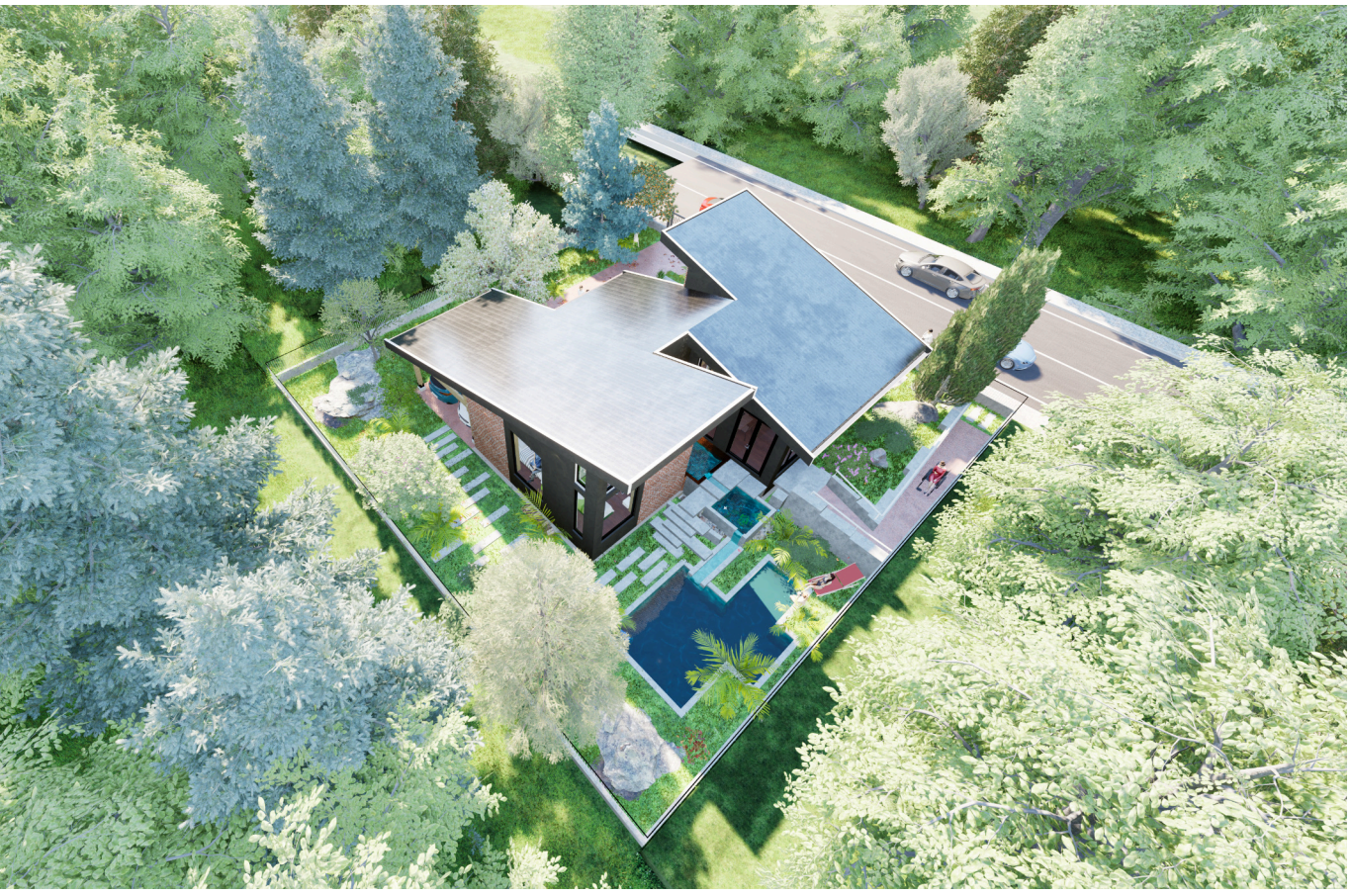




Fig. 05.01.212 - Vista render numero 27, in risalto come si presenta la residenza dal retro nelle ore diurne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).



02

Proposta di casa unifamiliare di 80 metri quadri
Dimora Rubino (Fig. 05.02.213)

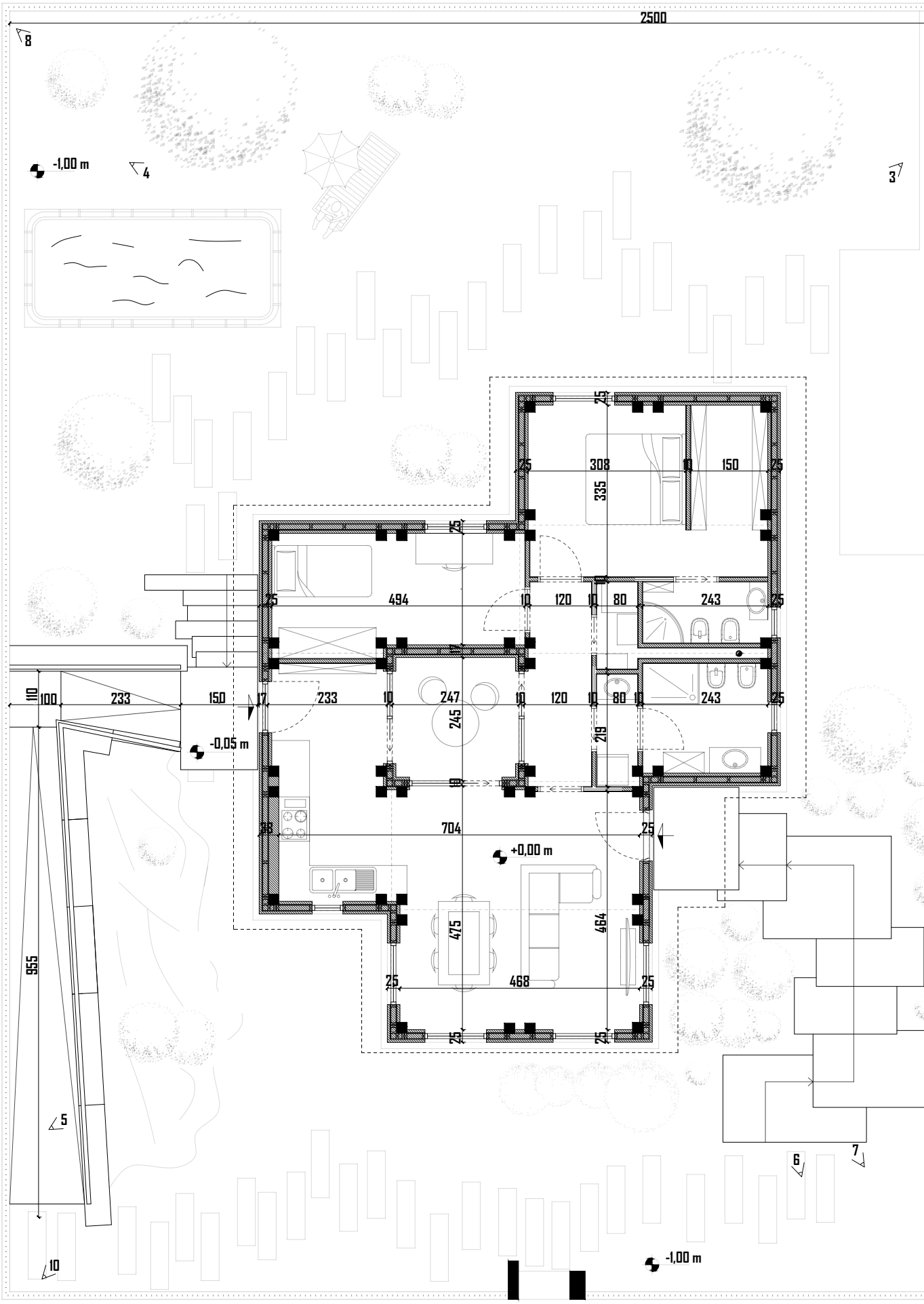


Fig. 05.02.213 - Render Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).



2.1 Le caratteristiche

Dimora Rubino è una proposta indipendente di 80 metri quadri calpestabili e 100 metri quadri commerciali (esclusa rimessa di 19,40 metri quadri), sviluppata su un unico piano fuori terra. Dal punto di vista architettonico segue linee tradizionali, con copertura a capanna a ritmi sfalsati e infissi di dimensioni contenute standard. Lo stabile è circondato da un giardino di 493 metri quadri (su terreno di 612 metri quadri). Quest'ultimo ha lo scopo di simulare un paesaggio naturale boschivo: i blocchi prefabbricati riproducono delle rocce spontanee ma posizionati in modo strategico al fine di generare gli accessi (garantendo il rispetto dell'ergonomia di percorrenza). A questo effetto contribuiscono la ricca vegetazione e il terreno movimentato da variazioni di quota. Le finiture seguono la linea tradizionale: la pittura è di colore bianco mentre il rivestimento della copertura è in coppi.


2500
8
-1,00 m
4
3
25
308
10
150
335
494
120
80
243
110
100
233
-0,05 m
247
245
219
704
+0,00 m
475
464
955
468
5
6
7
10
-1,00 m

2.2 Vista di Pianta (Fig. 05.02.214)

La soluzione include: un soggiorno-cucina-zona pranzo di 38 metri quadri; un bagno con antibagno di 7,05 metri quadri; una camera singola di 16,44 metri quadri; una camera doppia di 14,00 metri quadri con un bagno en suite di 2,90 metri quadri; un locale impianti (pompa di calore, impianto VMC e rack dati) di 1,36 metri quadri; un patio interno di 5,44 metri quadri; e una rimessa auto esterna di 19,40 metri quadri.

Sul fronte dell'accessibilità vi sono tre ingressi: una scala principale in facciata, una scala sul retro e, sul lato ovest, una rampa che porta alla zona pranzo e consente l'accesso a persone su sedia a rotelle (inclinazione massima dell'8%). L'immobile si sviluppa su un unico livello, facilitando la fruibilità per chi presenta problematiche motorie.

La metratura dell'intero appartamento segue la linea delle attuali richieste di mercato per soluzioni di circa 80 metri quadri, adatte a nuclei familiari medio-piccoli di tre persone (capitolo 3). La superficie complessiva infatti è di 80 metri quadri calpestabili, anche se in base alle necessità dell'utenza l'immobile può ospitare quattro persone mediante l'aggiunta di un ulteriore modulo affianco alla stanza singola trasformandola in una camera doppia, mantenendo inalterato tutto il resto della soluzione.

La particolarità dell'abitazione è il patio interno che permette di avere un fulcro verde al centro della casa, visibile da tutta la zona giorno.

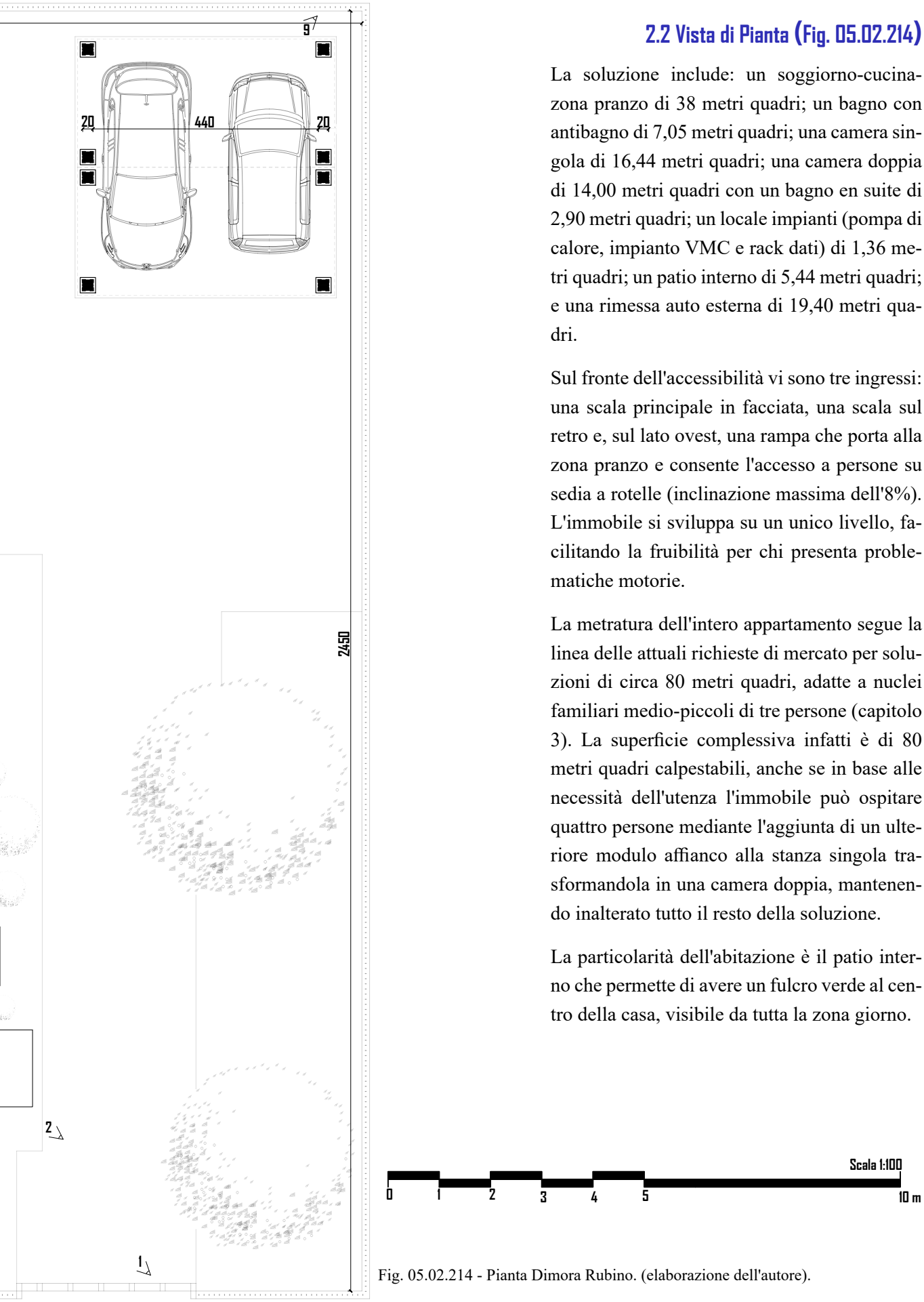
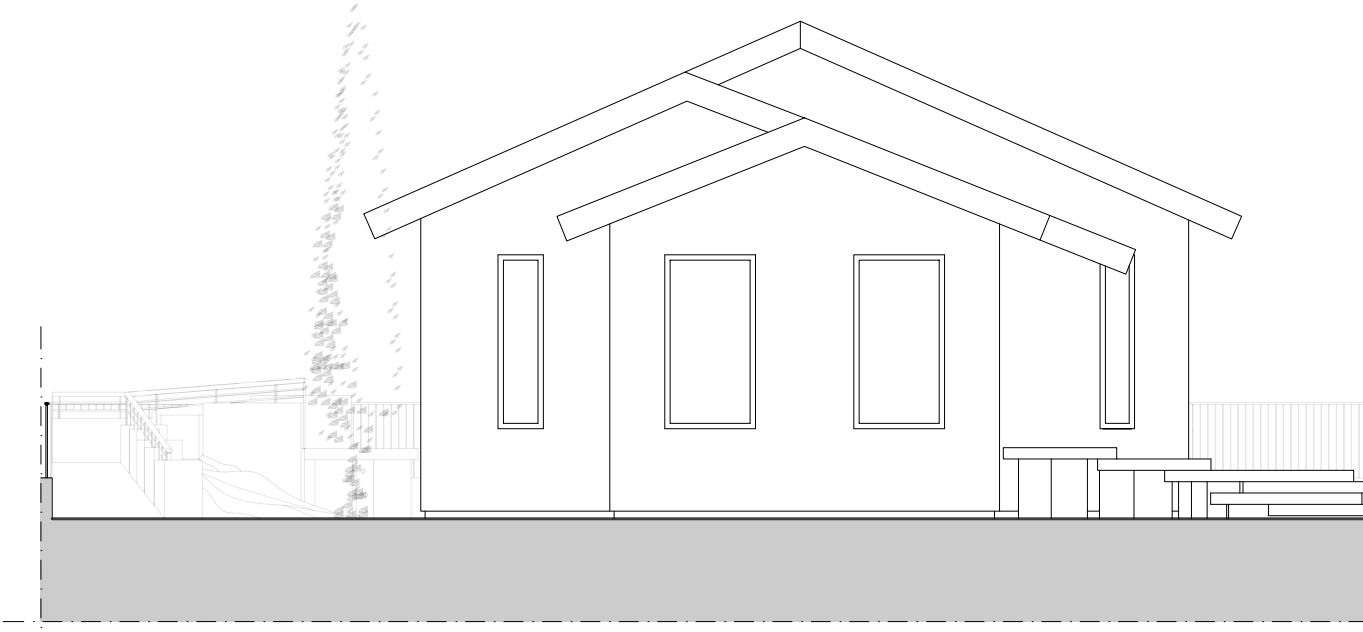
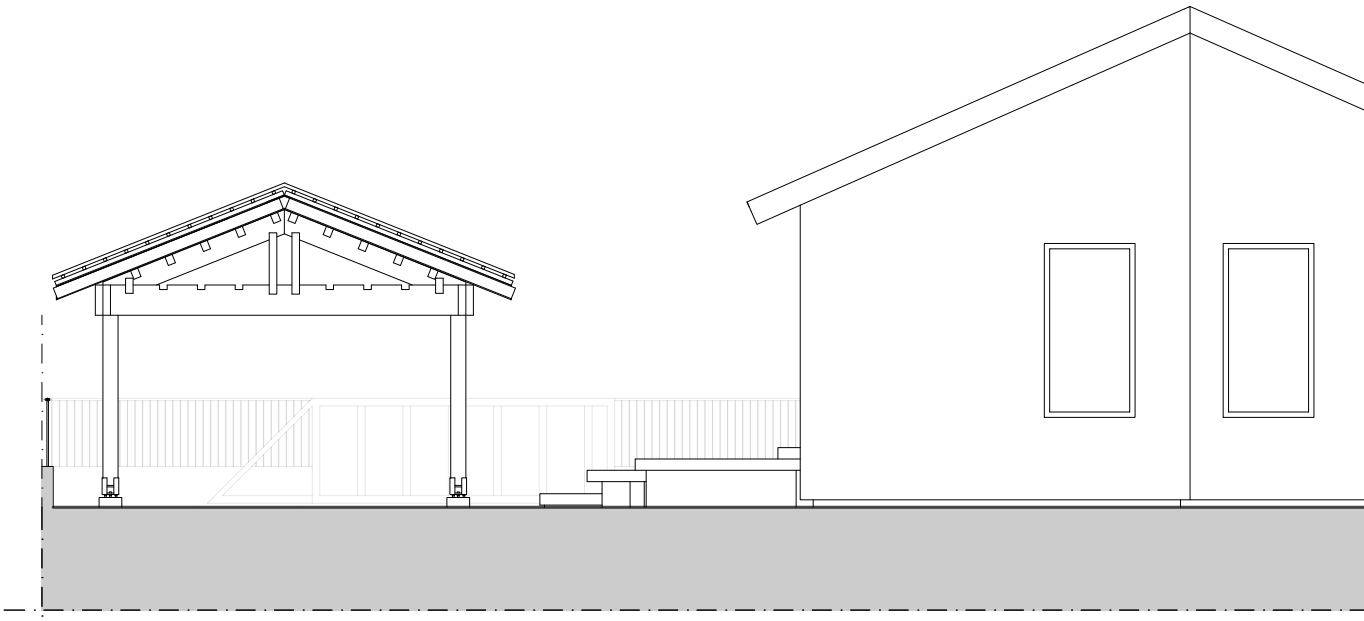


Fig. 05.02.214 - Pianta Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).



Prospetto Sud

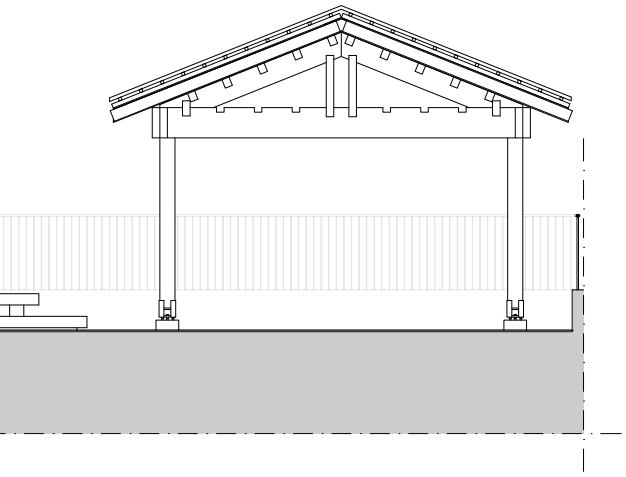
Fig. 05.02.215 - Prospetto Sud Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).

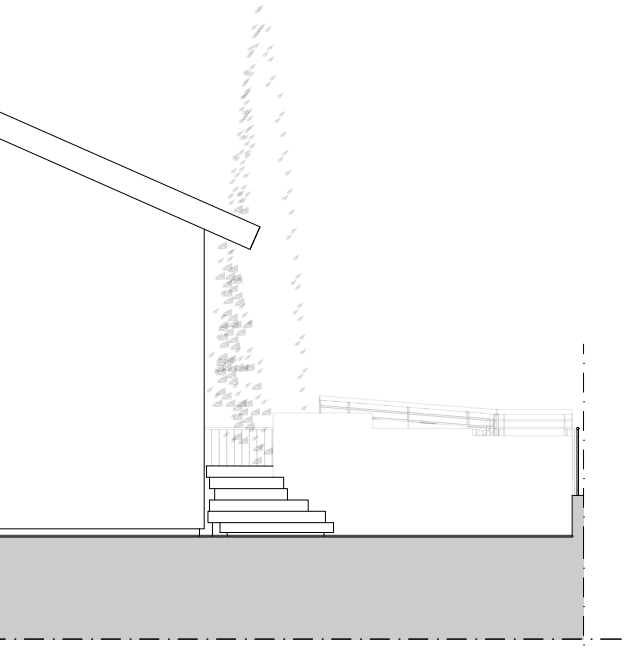


Prospetto Nord

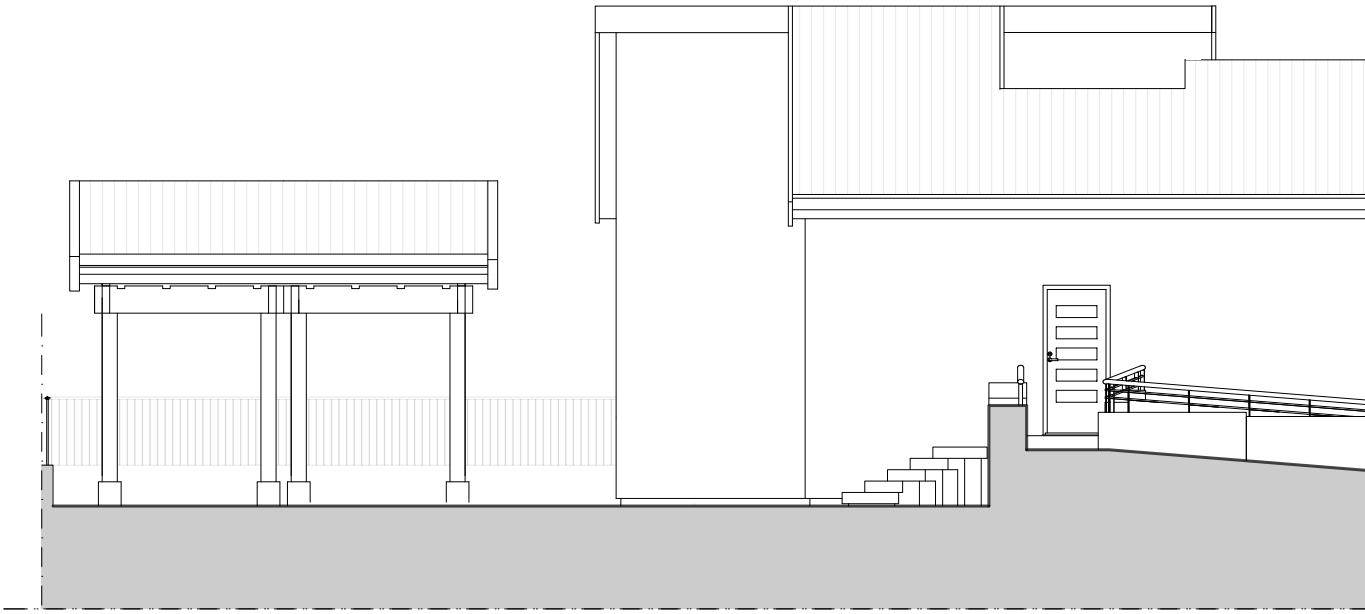
Fig. 05.02.216 - Prospetto Nord Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).

2.3 Viste dei prospetti Sud (Fig. 05.02.215)- Nord (Fig. 05.02.216)









Prospetto Ovest

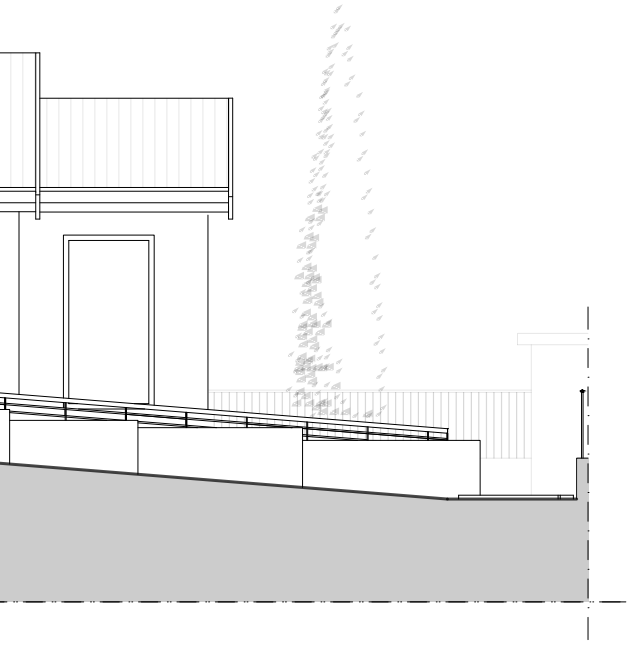
Fig. 05.02.217 - Prospetto Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).



Prospetto Est

Fig. 05.02.218 - Prospetto Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).

2.3 Viste dei prospetti Ovest (Fig. 05.02.217) - Est (Fig. 05.02.218)



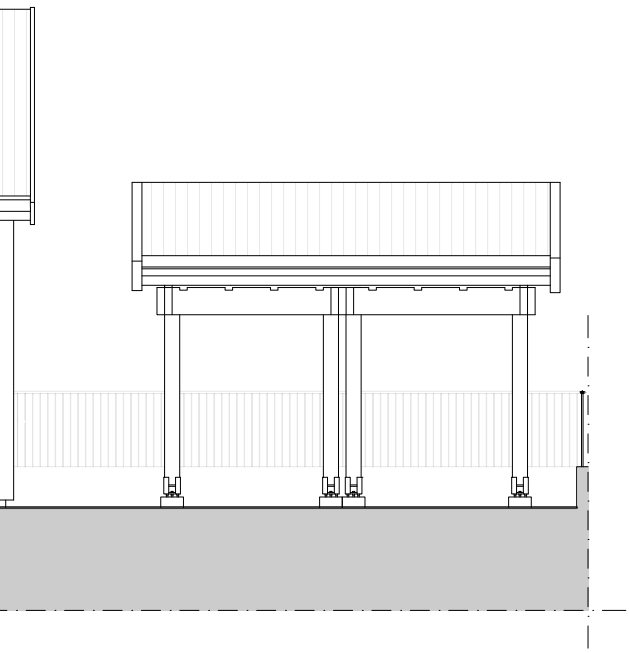






Fig. 05.02.219 - Vista render numero 1, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore diurne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).



2.4 Viste Render (Fig. 05.02.219-229)



Fig. 05.02.220 - Vista render numero 2, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso in ore diurne. (elaborazione dell'autore).





Fig. 05.02.221 - Vista render numero 3, in risalto come si presenta la residenza dal retro nelle ore diurne. (elaborazione dell'autore).





Fig. 05.02.222 - Vista render numero 4, in risalto come si presenta la residenza dal retro nelle ore diurne. (elaborazione dell'autore).





Fig. 05.02.223 - Vista render numero 5, rampa di accesso per persone con difficoltà motorie. (elaborazione dell'autore).





Fig. 05.02.224 - Vista render numero 6, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso in ore diurne. (elaborazione dell'autore).





Fig. 05.02.225 - Vista render numero 7, in risalto come si presenta la residenza immersa nel giardino nelle ore diurne. (elaborazione dell'autore).





Fig. 05.02.226 - Vista render numero 7, in risalto come si presenta la residenza immersa nel giardino nelle ore notturne. (elaborazione dell'autore).





Fig. 05.02.227 - Vista render numero 8, in risalto come si presenta la residenza dal retro nelle ore notturne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).





Fig. 05.02.228 - Vista render numero 9, in risalto come si presenta la residenza dal retro nelle ore notturne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).





Fig. 05.02.229 - Vista render numero 10, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore notturne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).



03 Sintesi finale e Considerazioni personali

3.1 Conclusioni

La ricerca ha il fine di sviluppare un sistema costruttivo prefabbricato a secco capace di realizzare molteplici soluzioni sulla base dello stesso abaco di elementi, con l'obiettivo di impiegare i vantaggi della produzione industrializzata e, allo stesso tempo, adottare la concezione del DfD per permettere la reversibilità della costruzione in un'ottica di recupero dei componenti, permettendo, in linea teorica, il loro futuro reimpiego diretto. Le connessioni si basano sulla geometria del Dado Joint e del Cross Lap, per permettere un facile e intuitivo assemblaggio, assicurato dall'aggiunta di opportuni staffaggi e viti. L'impegno è stato importante nell'identificare la forma delle varie componenti al fine di utilizzare il minor numero possibile di varietà delle stesse, per massimizzare il recupero delle parti e la produzione di massa, riducendo al minimo la necessità di parti su misura. L'impegno è stato quindi quello di identificare un nuovo linguaggio costruttivo comune, dove la varietà architettonica è generata dalla differente configurazione dei medesimi componenti, evitando il più possibile l'uso di colle a favore di connessioni reversibili.

Il capitolo cinque costituisce “la messa alla prova” delle potenzialità del sistema, prima solo teorizzato. Le differenti proposte sono state sviluppate al fine di mostrare come l'impiego di un abaco comune non sia sinonimo di abitazioni simili fra loro: la possibilità di intervenire sul diverso accostamento e sulla rotazione dei moduli, sulla conformazione delle coperture, sulla dimensione e posizione degli infissi, sulla varietà di finiture e sul rapporto con il contesto permette di ottenere risultati estetici molto distanti fra loro. La strategia è stata quella di concentrare la standardizzazione sulle strutture e sui componenti tecnici, lasciando maggiore libertà nelle finiture e nei rivestimenti degli stessi, mascherando in parte le componenti. Internamente, invece, queste sono lasciate a vista, mettendo in risalto il sistema, ma non si esclude la possibilità di occultarle nel caso in cui sia volontà della committenza.

Il risultato è stato in gran parte raggiunto prestando attenzione alle proporzioni del modulo, pari a 5 × 2,5 metri con un rapporto di 2:1, sbloccando la possibilità di accostamenti sul lato lungo e sul lato corto in totale libertà. Le misure derivano dai limiti di trasporto, che ne hanno vincolato le dimensioni, diventando un parametro restrittivo e insormontabile. Anche la posizione degli intagli sulle travi è stata di vitale importanza, offrendo un ampio margine di posizionamento dei componenti delle falde e svincolandoli dall'orientamento dei moduli sottostanti, offrendo così maggiore libertà nell'orientamento e nell'altezza delle falde.

L'abaco degli elementi è stato trasferito sulla piattaforma BIM per controllare sia gli aspetti geometrici sia quelli parametrici, offrendo la possibilità di controllare le quantità di materiali impiegati attraverso il conteggio degli elementi utilizzati per ogni progetto. La piattaforma, inoltre, consente di tenere facilmente sotto controllo il numero delle parti anche in progetti complessi, ottenendo immediatamente dopo la progettazione il numero degli elementi che dovranno essere prodotti. Ogni elemento è formato da una famiglia o da un insieme di famiglie, offrendo la massima conoscenza di ogni singolo elemento, come peso, cubatura e metri quadri. Sarebbe inoltre molto utile, in futuro, sviluppare una stima del costo delle parti per avere un preventivo preliminare dei materiali, ottenuto dalla somma dei costi dei singoli elementi. Il software consente inoltre un facile collegamento con i macchinari di produzione, permettendo teoricamente un collegamento con i macchinari CNC atti a sagomare gli elementi. Una produzione di massa degli stessi com-

ponenti potrebbe essere utile per diminuire il costo del singolo elemento, puntando sulla ripetitività delle operazioni, svolte in spazi controllati, aspetto favorevole anche per gli operai, che possono operare con maggiore sicurezza e al riparo dagli agenti atmosferici. Gran parte delle lavorazioni di preparazione delle parti, infatti, viene svolta in stabilimento, alle quali seguono il trasporto dei componenti finiti su TIR Mega e la posa con apposite autogrù.

L'anima decostruibile del sistema non è utile solo a fine vita, ma soprattutto durante l'uso. La predisposizione di appositi spazi per gli impianti e l'utilizzo di sole viti per l'unione fra le parti garantiscono l'ispezionabilità e la semplice sostituzione di elementi degradati o obsoleti, evitando demolizioni e prolungandone la vita utile. L'aspetto della decostruibilità è una delle peculiarità che più si discostano dai sistemi tradizionali, nei quali, durante una ristrutturazione o un intervento, seppur piccolo, spesso si rende necessaria la demolizione e la conseguente produzione di macerie e rifiuti, non reimpiegabili neanche per il fabbricato stesso. Al contrario, l'approccio DADO permetterebbe anche lo smontaggio e il rimontaggio delle parti in edifici distinti, portando, a livello teorico, alla nascita di un nuovo mercato, ovvero quello degli elementi usati, più economici ma allo stesso tempo efficaci come quelli nuovi, avvicinandosi a un modello di economia circolare.

Nella soluzione Villa Smeraldo sono state effettuate delle quantificazioni dei materiali impiegati per realizzarla (pagine 166-171) e da esse è possibile trarre dei dati tangibili sul potenziale di riuso, riciclo o smaltimento del sistema DADO. I dati sono suddivisi come nell'abaco:

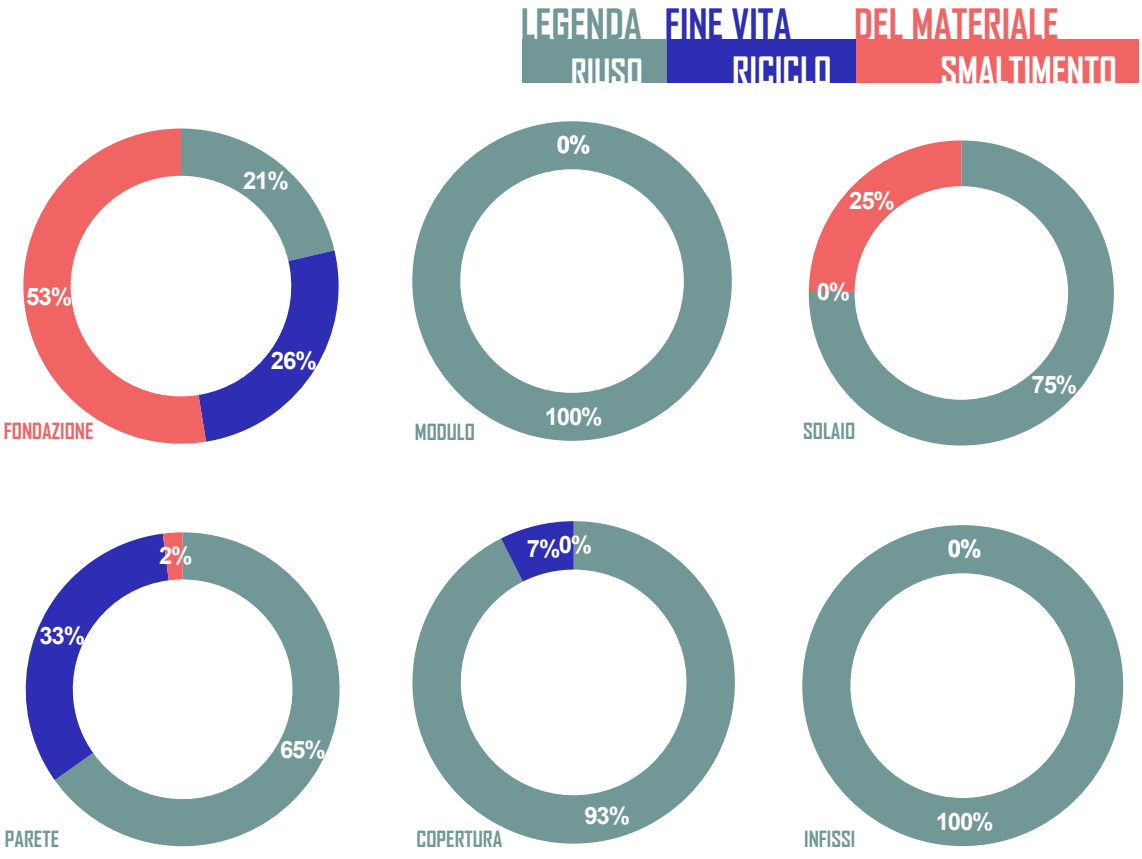


Fig. 05.03.230 - Grafici riassuntivi che indicano in percentuale quanto incidono le voci di riuso, riciclo e smaltimento sulla base dei volumi dei materiali. (elaborazione dell'autore).

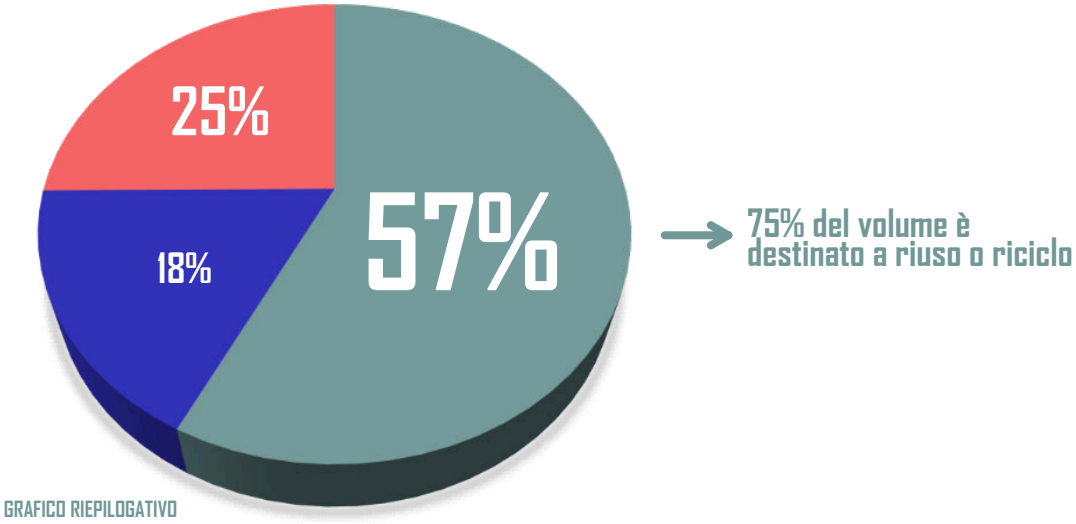


Fig. 05.03.231 - Grafico finale che indica in percentuale quanto incidono le voci di riuso, riciclo e smaltimento sulla base dei volumi dei materiali di tutto l'immobile. (elaborazione dell'autore).

Questi dati non rappresentano un risultato assoluto per ogni proposta, ma sono specifici di questa casistica, che è stata riportata per offrire un primo resoconto tangibile. È evidente che la porzione del sistema che, a livello generale, merita maggiori migliorie è sicuramente quella delle fondazioni, con ben il 53% dei materiali destinati allo smaltimento. Questo è dovuto al fatto che è stata ipotizzata come platea, dato che si tratta di un elemento interamente strutturale e sono necessarie numerose verifiche da parte di software di calcolo per determinare se una metodologia più decostruibile sia effettivamente fattibile anche sul piano normativo. Una prima idea è stata la scomposizione delle parti in elementi prefabbricati, come travi di bordo e plinti, i quali sono stati già impiegati, ma le incertezze relative alla coesione del sistema non ne hanno permesso lo sviluppo completo.

Mentre tutta la restante parte del sistema si comporta decisamente meglio, soprattutto la struttura, composta da elementi in legno lamellare, è teoricamente smontabile e reimpiegabile, dato che le parti sono protette dagli strati che le rivestono e non incorrono in fenomeni di degrado, non essendo esposte agli agenti atmosferici o a sbalzi termici. In generale, le parti più difficili da recuperare sono le finiture, dato che solitamente sono richiesti materiali nuovi per motivi di gusti personali o di igiene. La scelta di impiegare cartongessi e sughero espanso come cappotto permette comunque di mantenere un buon livello di riciclo delle parti, così come i profilati a C metallici. Un ruolo chiave nel ridurre gli impatti è svolto dagli isolanti in lana di roccia, scelti per la loro durata e resistenza: essendo di origine minerale, non subiscono degrado, permettendo un facile recupero degli stessi, beneficiando inoltre del fatto che non sono posti mediante incollaggi e che le parti sono tagliate secondo dimensionamenti standard.

In generale, però, il risultato è da ritenersi soddisfacente, con un 75% del volume dei materiali destinato a riuso e riciclo. La scelta dell'uso dei metri cubi rispetto al peso come sistema comparativo è stata effettuata per non penalizzare i sistemi a secco, molto più leggeri delle parti tradizionali. Per questo, i ragionamenti sono avvenuti sulla base dello spazio occupato, dell'ingombro in

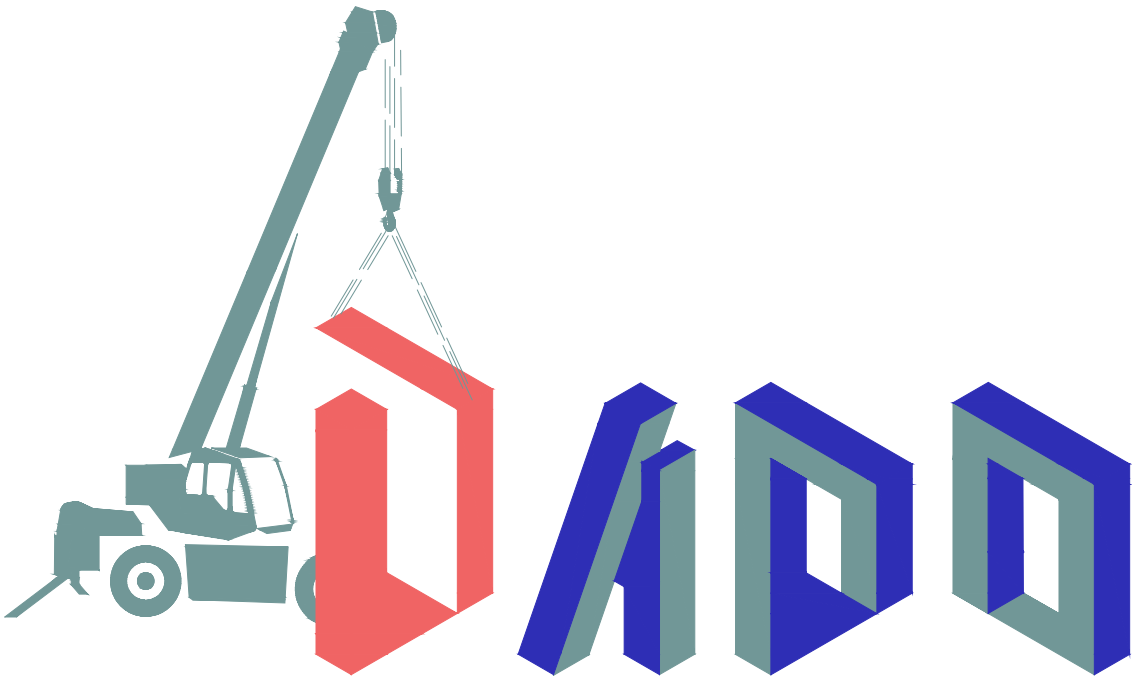
termini di cubatura delle parti, adottando così un parametro, o indice, neutrale per tutti, che è appunto il metro cubo.

Il sistema costruttivo, nonostante presenti i precedenti riscontri positivi, presenta anche dei compromessi che portano a svantaggi operativi, come il vincolo dimensionale imposto dalla griglia di 5 × 2,5 metri dei moduli stessi, che ne riduce la flessibilità in specifiche condizioni di contesto e che può fare la differenza fra l'impiego o meno dell'intero sistema. Un esempio sono i limiti relativi alle distanze fra edifici, in caso di lotto piccolo o con angolazioni particolari, ciò può comportare l'abbandono del sistema.

Un'ulteriore criticità da verificare sono gli stessi incastri Cross Lap e Dado Joint, i quali, senza le corrette tolleranze, renderebbero impossibile il montaggio: intagli troppo precisi bloccherebbero gli elementi, mentre intagli con troppo gioco ne comprometterebbero la precisione esecutiva. Ne consegue la necessità di risolvere anche la formazione di piccole fessure fra le parti, che inevitabilmente si formerebbero mantenendo una piccola distanza fra gli elementi stessi. Un'ulteriore criticità riguarda il calcolo preciso degli staffaggi e delle viti da inserire nel sistema, oltre che la scelta delle sezioni da adottare. Per ora il tutto è stato predimensionato con calcoli di massima, perciò DADO risulta una configurazione teorica al momento, che richiede verifiche strutturali statiche e dinamiche, lo studio del comportamento in caso di sisma, oltre agli opportuni collaudi.

Tale progetto, quindi, si configura come un primo approccio sperimentale alla tematica, introducendo e applicando i principi del DfD. Nonostante non siano stati approfonditi tutti gli aspetti che concorrono a definire il sistema pienamente impiegabile, è stata però un'occasione per mettere alla prova la propria capacità di rielaborazione, anche di stratigrafie e soluzioni già pienamente collaudate, che però si basavano sull'incollaggio delle parti, partendo da chi in passato ha già affrontato il tema, ognuno con le proprie declinazioni, idee, problemi e sfide che il tempo gli ha posto di fronte.

Personalmente, ritengo che DADO non abbia ancora la maturità sufficiente per definirsi un sistema funzionale in tutti gli aspetti, però l'anima dello stesso, ovvero il principio di poter concepire un abaco comune da costruzione standardizzato come un set di costruzioni, penso sia un approccio nuovo e che meriti le dovute attenzioni, dato che può effettivamente far scaturire un nuovo modo di concepire l'edilizia, aiutando ad affrontare le sfide future.



Iconografia

Fig. 01.01.1 - Assonometria del Manning Portable Cottage. (*Smith 2010, p. 6*).

Fig. 01.01.2 - Una delle più comuni applicazioni delle coperture di ferro ondulato. (*Smith 2010, p. 9*).

Fig. 01.01.3 - Schizzo preliminare del Crystal Palace di Joseph Paxton 1851. *(Di Micco 2010, p. 14)*.

Fig. 01.01.4 - Il sistema balloon frame. *(Knaack 2012, p. 17)*.

Fig. 01.01.5 - Erezioni delle pareti balloon frame. *(Davies 2005, p. 45)*.

Fig. 01.01.6 - Catalogo della Aladdin Company del 1917. *(Smith 2010, p. 10)*.

Fig. 01.02.7 - Stabilimento produttivo di pannelli da costruzione nel 1928. *(Staib 2008, p. 24)*.

Fig. 01.02.8 - Le case di Pessac stravolte dagli abitanti, infatti furono aggiunte falde dai proprietari stessi. *(Davies 2005, p. 18)*.

Fig. 01.02.9 - La Dymaxion House del 1928. *(Smith 2010, p. 33)*.

Fig. 01.02.10 - La Wichita House del 1944. *(Davies 2005, p. 28)*.

Fig. 01.02.11 - Padiglione dell'Expo di Montreal del 1967. *(Staib 2008, p. 31)*.

Fig. 01.02.12 - La Maison tropicale di Jean Prouve del 1954. *(Knaack 2012, p. 31)*.

Fig. 01.02.13 - Presentazione di un'abitazione progettata dalla Airoh. *(Davies 2005, p. 62)*.

Fig. 01.02.14 - Una abitazione progettata dalla Lustron Corporation. *(Davies 2005, p. 58)*.

Fig. 01.02.15 - Una casa mobile vicino a Salt Lake City nel 1970. *(Smith 2010, p. 15)*.

Fig. 01.02.16 - Citrohan House concepita come "macchina per vivere" da Le Corbusier. *(Smith 2010, p. 30)*.

Fig. 01.03.17 - Habitat '67 di Moshe Safdie nel 1967. *(Smith 2010, p. 36)*.

Fig. 01.03.18 - I moduli in cemento armato prefabbricato di Habitat '67. *(Smith 2010, p. 36)*.

Fig. 01.03.19 - Nakagin Capsule Tower completata. *(Di Micco 2010, p. 21)*.

Fig. 01.03.20 - Plug-in Cities concepita da Archigram. *(Davies 2005, p. 40)*.

Fig. 01.03.21 - Zip-up House progettata da Richard Rogers. *(Davies 2005, p. 37)*.

Fig. 01.03.22 - Centre Pompidou a Parigi, progettato da Renzo Piano e Richard Rogers. *(Smith 2010, p. 39)*.

Fig. 01.03.23 - Prospetto del Centre Pompidou con la scala mobile esterna. *(Staib 2008, p. 37)*.

Fig. 01.04.24 - La LV Series Home di Rocio Romero, esempio di casa-prodotto minimalista con estetica industriale e "scatolare" *(Smith 2010, p. 257)*.

Fig. 01.04.25 - Sistema "Modern Modular" che mostra una serie di moduli base predeterminati che possono essere configurati in decine di modi diversi per adattarsi alle richieste del cliente. *(Smith 2010, p. 259)*.

Fig. 01.04.26 - Connessioni che garantiscono il montaggio e lo smontaggio. *(Smith 2010, p. 186)*.

Fig. 01.04.27 - Gestione delle interferenze impiantistiche sul modello BIM. *(Imperadori 2019, p. 214)*.

01.04.28 - Modello BIM. *(Elaborazione personale)*.

Fig. 01.04.29 - Le proprietà del disassemblaggio. *(Johansson 2002, p. 58)*.

Fig. 01.04.30 - Lo schema della Cellophane House, progettata specificamente per essere completamente smontata e riutilizzata, trasformando lo scarto in risorsa. *(Smith 2010, p. 185)*.

Fig. 01.04.31 - Le proprietà essenziali per un disassemblaggio efficiente. *(Johansson 2002, p. 61)*.

Fig. 02.01.32 - La scomposizione del fabbricato in componenti tecnologici, solai, pareti e giunti prima della realizzazione, pronti per l'assemblaggio. *(Smith 2010, p. 279)*.

Fig. 02.01.33 - Esempi di connessioni realizzabili in modalità differenti, ognuna con i propri pregi o difetti, da identificare in fase progettuale. *(Staib 2008, p. 6)*.

Fig. 02.01.34 - Un esempio di calcolo dei componenti e analisi delle fasi di posa. *(Staib 2008, p. 19)*.

Fig. 02.01.35 - Stabilimento produttivo. *(Staib 2008, p. 38)*

Fig. 02.01.36 - Posa in cantiere. *(Staib 2008, p. 188).*

Fig. 02.02.37 - I cinque principi cardine nella costruzione industriale. *(Smith 2010, p. 80).*

Fig. 02.02.38 - La demolizione di un fabbricato tradizionale, testimonia l'enorme quantità di rifiuti generati. *(Smith 2010, p. 62).*

Fig. 02.02.39 - Il diagramma di Gantt mette a confronto i tempi di realizzazione di due case simili: una costruita in modo tradizionale in cantiere (21 mesi di realizzazione) e una prefabbricata in moduli (10 mesi di realizzazione). *(Smith 2010, p. 85).*

Fig. 02.02.40 - Confronto dell'andamento dei flussi di cassa (draws over time) tra l'edilizia tradizionale in cantiere (onsite) e l'edilizia prefabbricata offsite. *(Smith 2010, p. 92).*

Fig. 02.02.41 - Analisi dei costi unitari in funzione della standardizzazione e della variazione. Il terzo grafico evidenzia l'ottimizzazione dei costi legata alla flessibilità dei moderni processi industriali. *(Smith 2010, p. 69).*

Fig. 02.02.42 - Un esempio dei problemi logistici che è possibile incorrere durante la posa. *(Staib 2008, p. 46).*

Fig. 02.02.43 - Il diagramma di Venn mostra come l'innovazione nasca dall'equilibrio tra Ambiente, Organizzazione e Tecnologia (TOE). *(Smith 2010, p. 48).*

Fig. 02.02.44 - Il diagramma di MacLeamy mostra la differenza fra l'approccio alla progettazione con metodologia BIM e le metodologie tradizionali, mettendo in luce il grande investimento in termini di tempo iniziale e i vantaggi che derivano. *(Smith 2010, p. 58).*

Fig. 02.02.45 - Lo schema mostra la classificazione e tassonomia dei principali sistemi costruttivi prefabbricati e approcci di industrializzazione edilizia, suddivisi in componenti lineari, bidimensionali, volumetrici e flessibili. *(Smith 2017, p. 6).*

Fig. 02.02.46 - Lo schema mostra la classificazione dei sistemi costruttivi industrializzati in base al livello di prefabbricazione: approccio bidimensionale a componenti, sistema ibrido e sistema volumetrico tridimensionale realizzato in fabbrica. *(Smith 2017, p. 4).*

Fig. 02.02.47 - Il diagramma di flusso mostra l'integrazione dei sub-sistemi edilizi: struttura, involucro, partizioni, finiture e impianti e loro combinazione logistica nei diversi modelli di industrializzazione offsite. *(Smith 2017, p. 19).*

Fig. 02.03.48 - Lo schema mostra i vari processi che possono subire le parti del manufatto a fine vita. *(Johansson 2002, p. 11).*

Fig. 02.03.49 - Lo schema mostra quali processi a fine vita sono preferibili in base a quanto impatto comportano. *(Johansson 2002, p. 32).*

Fig. 02.03.50 - Lo schema mostra dove si collocano nel ciclo di vita le varie alternative di riuso dei componenti o riciclo dei materiali. *(Johansson 2002, p. 8).*

Fig. 02.03.51 - Lo schema mostra i sei layer teorizzati da Brand, struttura, pelle, servizi, spazio, sito e arredo. *(Smith 2010, p. 221).*

Fig. 02.03.52 - Lo schema mostra la classificazione lineare dei sistemi costruttivi in base al grado di prefabbricazione: da elementi lineari, a componenti bidimensionali, fino ai moduli volumetrici tridimensionali. *(Smith 2010, p. 128).*

Fig. 02.03.53 - Lo schema mostra le tre soluzioni, telaio, pannelli e moduli. *(Staib 2008, p. 42).*

Fig. 02.03.54 - Lo schema mostra le due griglie alternative, a pilastri o a superfici. *(Staib 2008, p. 125).*

Fig. 02.04.55 - Esempio di stratigrafia con montanti di profili metallici, isolamenti e pannelli di rivestimento. *(Staib 2008, p. 161).*

Fig. 02.04.56 - Articolazione degli impianti nelle strutture. *(Staib 2008, p. 62).*

Fig. 02.04.57 - Un esempio di flessibilità architettonica grazie alle prestazioni portanti del metallo. *(Staib 2008, p. 213).*

Fig. 02.04.58 - Un esempio di impiego del calcestruzzo prefabbricato per le strutture. *(Staib 2008, p. 99).*

Fig. 02.04.59 - Un esempio di come il legno si presta a molteplici usi, strutturali e di rivestimento. *(Staib 2008, p. 187).*

Fig. 02.04.60 - Fissaggi mediante piastre e perni. *(Staib 2008, p. 66).*

Fig. 02.04.61 - Schemi di diverse tipologie di posizionamento fra travi e pilastri. *(Staib 2008, p. 65).*

Fig. 02.04.62 - Schemi di comportamento di una struttura a telaio nei confronti di forze orizzontali e i relativi sistemi di controventamento atte ad opporsi. *(Staib 2008, p. 54).*

Fig. 02.04.63 - Evoluzione dei sistemi costruttivi leggeri in legno: il primo Balloon frame tradizionale con controventature diagonali, il secondo Balloon frame modificato senza controventi interni e il terzo utilizzato oggi il Platform frame con solaio intermedio a piattaforma. *(Staib 2008, p. 16).*

Fig. 02.04.64 - Elementi di collegamento metallici per elementi lignei: piastre chiodate per capriate, piastre di giunzione in linea, sistemi di connessione pilastro-trave tridimensionale con spinotti e staffe di base regolabili per l'ancoraggio alle fondazioni. *(Staib 2008, p. 63).*

Fig. 02.04.65 - La mappa mondiale delle abitazioni Active House del 2018. *(Imperadori 2019, p. 71).*

Fig. 02.05.66 - Schema con i principi cardine di Active House: Comfort, Energia e Ambiente. *(Imperadori 2019, p. 61).*

Fig. 02.05.67 - Il grafico Radar con i relativi parametri analizzati. *(Imperadori 2019, p. 76).*

Fig. 02.05.68 - RhOME per la competizione Solar Decathlon del 2014 a Versailles, in Francia. *(Imperadori 2019, p. 117).*

Fig. 02.05.69 - Schema grafico delle soluzioni adottate in RhOME per garantire un bassissimo consumo energetico. *(Imperadori 2019, p. 122).*

Fig. 02.05.70 - Grafico Radar di RhOME . *(Imperadori 2019, p. 122).*

Fig. 02.05.71- Analisi comparativa e geometrica a parità di spessore (38 cm) tra un involucro massivo tradizionale in laterizio (a sinistra) e una stratigrafia iper-isolata a secco (a destra), dal punto di vista delle prestazioni energetiche di trasmittanza termica globale. (Fonte: Berizzi M., I sistemi costruttivi a secco, *Seminario presso il Politecnico di Torino*, 18/03/2026).

Fig. 02.05.72 - Schematizzazione delle direzioni di propagazione dell'onda sonora e percorsi di trasmissione laterale all'interno delle strutture di un manufatto edilizio. (Fonte: Berizzi M., *I sistemi costruttivi a secco, Seminario presso il Politecnico di Torin*o, 18/03/2026).

Fig. 02.05.73 - Schema del principio massa-molla-massa. (*Fonte: Berizzi M., I sistemi costruttivi a secco, Seminario presso il Politecnico di Torino, 18/03/2026)*.

Fig. 02.05.74 - Gli strati di cartongesso proteggono passivamente la parete. *(Fonte: Berizzi M., I sistemi costruttivi a secco, Seminario presso il Politecnico di Torino, 18/03/2026).*

Fig. 03.01.75 - Il grafico di sinistra mostra come l'inflazione (linea rossa) abbia eroso i salari dei lavoratori italiani (linea blu), mentre il grafico a destra confronta l'andamento dei salari reali (Italia linea rossa). (Fonte: Rapporto Annuale Eurostat 2026, p. 33, elaborazione dell'autore).

Fig. 03.01.76 - Italiani per i quali le bollette gravano troppo sul budget familiare. (Fonte: Rapporto Annuale Censis 2025, p. 23, elaborazione dell'autore).

Fig. 03.01.77 - Italiani che sostengono che in mancanza di un supporto dato dalle famiglie, i giovani potranno difficilmente acquistare casa in autonomia (valori in %). *(Fonte: Rapporto Annuale Censis 2025, p. 19, elaborazione dell'autore).*

Fig. 03.01.78 - Italiani che ritengono necessario adeguare l'offerta di nuove case per single, coppie e piccole famiglie. (Fonte: Rapporto Annuale Censis 2025, p. 24, elaborazione dell'autore).

Fig. 03.01.79 - Previsioni demografiche sull'evoluzione delle tipologie familiari in Italia a intervalli quinquennali (2025-2050). Il grafico mostra la marcata tendenza all'aumento di persone sole e delle coppie senza figli, viceversa, si registra una contrazione delle famiglie con figli, specialmente quelle con figli minori di 20 anni. *(Fonte: Istat previsioni delle famiglie, elaborazione dell'autore).*

Fig. 03.01.80 - Il grafico ad intervalli quinquennali (2020-2040) evidenzia un allarmante declino delle coppie con bambini (linea rossa), e in parallelo si registra una crescita progressiva delle coppie senza figli (linea blu). (Fonte: Rivista di Statistica Ufficiale Istat n. 1-2-3/2023, p. 29, elaborazione dell'autore).

Fig. 03.01.81 - Il grafico mostra la percentuale di imprese con 10 o più dipendenti che hanno svolto riunioni a distanza tramite incontri online nei paesi dell'Unione Europea (2024), risaltano i paesi nordici, come Finlandia (85%), Svezia (79%), Danimarca (78%) e Norvegia (80%). *(Fonte: Rapporto Eurostat del 14 maggio 2025, nel 2024 il 53% delle imprese dell'UE ha tenuto riunioni a distanza, elaborazione dell'autore).*

Fig. 03.01.81 - Il grafico mostra la percentuale di imprese con 10 o più dipendenti che hanno svolto riunioni a distanza tramite incontri online nei paesi dell'Unione Europea (2024), risaltano i paesi nordici, come Finlandia (85%), Svezia (79%), Danimarca (78%) e Norvegia (80%). *(Fonte: Rapporto Eurostat del 14 maggio 2025, nel 2024 il 53% delle imprese dell'UE ha tenuto riunioni a distanza, elaborazione dell'autore*).

Fig. 03.01.82 - Italiani che ritengono necessario adeguare l'offerta di nuove case per single, coppie e piccole famiglie. *(Fonte: Rapporto EUROSTAT del 14 maggio 2025, in media i cittadini dell'UE lavorano 36 ore a settimana, elaborazione dell'autore).*

Fig. 03.01.83 - Evoluzione dei livelli di pratica sportiva e sedentarietà della popolazione in Italia (2014-2024). I grafici delineano la tendenza ad una vita sempre più sportiva e regolare con la conseguenza di una riduzione della quota di sedentarietà. *(Fonte: Centro Studi Sport e Salute su dati Istat, in Rapporto Sport 2025, p. 34, elaborazione dell'autore).*

Fig. 03.01.84 - Il grafico mostra il taglio delle compravendite di immobili per regione, offrendo un quadro a livello nazionale sul mercato, si denota la prevalenza di compravendite su immobili fra i 50 metriquadri e gli 85 metriquadri, e in secondo posto da 85 m2 a 115 m2, in tutto il territorio italiano. *(Fonte: Statistiche regionali dell'Osservatorio del mercato immobiliare dell'AgenziaEntrate del 2026, elaborazione dell'autore).*

Fig. 03.02.85 - Marchio ufficiale dell'azienda Wolf Haus, selezionata come caso studio. *(Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort).*

Fig. 03.02.86 - Struttura portante di copertura di un capannone con capriate reticolari dirette per la Francia. *(Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 12-13, rielaborazione dell'autore).*

Fig. 03.02.87 - La sede dell'azienda al campo di Trens (BZ). *(Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 14-15, rielaborazione dell'autore).*

Fig. 03.02.88 - Stratigrafia parete Mega Wand. *(Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 60, rielaborazione dell'autore).*

Fig. 03.02.89 - Stratigrafia parete interna. (Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 64, rielaborazione dell'autore).

Fig. 03.02.90 - Stratigrafia solaio. *(Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 65, rielaborazione dell'autore).*

Fig. 03.02.91 - Copertura a capriate. *(Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 68, rielaborazione dell'autore).*

Fig. 03.02.92 - Copertura tradizionale. *(Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 68, rielaborazione dell'autore).*

Fig. 03.02.93 - Test sismico su tavola vibrante. *(Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 37, rielaborazione dell'autore).*

Fig. 03.02.94 - Soluzione residenziale stile tradizionale, taglia S di 82 metri quadri commerciali. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Wolf System S.r.l.).*

Fig. 03.02.95 - Soluzione residenziale stile contemporaneo, taglia L di 173 metri quadri commerciali. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Wolf System S.r.l.).*

Fig. 03.02.96 - I riconoscimenti e premi. *(Fonte: Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort, p. 228-229, rielaborazione dell'autore).*

Fig. 03.03.97 - Marchio ufficiale dell'azienda Rubner Haus, selezionata come caso studio. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus).*

Fig. 03.03.98 - Fotografia d'epoca della famiglia di Josef Rubner a Chienes. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus).*

Fig. 03.03.99 - Veduta aerea dello storico stabilimento di lavorazione del legname e segheria della famiglia Rubner a Chienes. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus).*

Fig. 03.03.100 - Stabilimento attuale di Chienes. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus).*

Fig. 03.03.101 - Struttura delle pareti con sistema ad incastri Blockhaus. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus, elaborazione dell'autore).*

Fig. 03.03.102 - Struttura delle pareti con sistema Casablanca. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus, elaborazione dell'autore).*

Fig. 03.03.103 - Struttura delle pareti con sistema a telaio. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus, elaborazione dell'autore).*

Fig. 03.03.104 - Un esempio di struttura Rubner in stile contemporaneo, "Villa ai Filari" a Limana nel Veneto. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus).*

Fig. 03.03.105 - Un esempio di finiture interne con legno a vista dell'azienda Rubner, "Villa ai Filari" a Limana nel Veneto. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus).*

Fig. 03.03.106 - Un esempio di struttura Rubner in stile contemporaneo ma con richiami tradizionali mediante falde sporgenti, "Chalet Monterosa" a Gressoney Saint-Jean. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus).*

Fig. 03.03.107 - Il gruppo Rubner con il prestigioso premio italiano per l'edilizia sostenibile CasaClima Award 2025 vinto con il progetto "la villa ai filari". *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus, elaborazione dell'autore).*

Fig. 03.03.108 - Complesso scolastico Jean-Louis Etienne, in Francia, che ha permesso al gruppo di aggiudicarsi il premio di architettura "ArchDaily Building of the Year Award 2024". I progettisti hanno scelto di mantenere il legno a vista come caratterizzazione dell'edificio. *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus).*

Fig. 03.03.109 - Complesso scolastico Jean-Louis Etienne, in Francia, che ha permesso al gruppo di aggiudicarsi il premio di architettura "ArchDaily Building of the Year Award 2024". *(Fonte: sito web ufficiale dell'azienda Rubner Haus).*

Fig. 04.01.110 - Il prototipo di edilizia prefabbricata a zero emissioni di RuralZED progettato dall'Arch. Bill Dunster. *(Fonte: Di Micco 2010, p. 92).*

Fig. 04.01.111 - Il prototipo di edilizia prefabbricata a zero emissioni di RuralZED progettato dall'Arch. Bill Dunster. *(Fonte: Di Micco , p. 92).*

Fig. 04.01.112 - Il sistema costruttivo concepito da RuralZED realizzato. *(Fonte: Di Micco 2010, p. 96).*

Fig. 04.01.113 - Schema del sistema costruttivo concepito da RuralZED, basato sulla geometria e gli incastri dei componenti. *(Fonte: Di Micco 2010, p. 97).*

Fig. 04.01.114 - Sezione del prototipo di edilizia prefabbricata a zero emissioni di RuralZED progettato dall'Arch. Bill Dunster, in risalto i dettagli costruttivi. *(Fonte: Di Micco 2010, p. 98).*

Fig. 04.02.115 - Assonometria del dettaglio tecnologico Dado joint. *(Fonte: Ching 2014, p. 366, rielaborazione dell'autore).*

Fig. 04.02.116 - Assonometria del dettaglio tecnologico del Cross lap. *(Fonte: Ching 2014, p. 367, rielaborazione dell'autore).*

Fig. 04.02.117 - Assonometria del modulo Dado e abaco componenti. (elaborazione dell'autore).

Fig. 04.02.118 - Accostamento moduli in diversi orientamenti. (elaborazione dell'autore).

Fig. 04.02.119 - Distribuzione interna della zona notte mediante l'impiego di soli tre moduli. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.02.120 - Impiego dei moduli per uso autorimessa per moto. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.02.121 - Impiego dei moduli per uso autorimessa per veicoli. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.02.122 - Schema del modulo mediante una vista dall'alto e i relativi incastri come il cross lap. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.02.123 - Assonometria del modulo con schemi dei dettagli delle giunzioni fra le parti. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.02.124 - Assonometria della trave da 5 metri con le relative specifiche sulle lavorazioni condotte in stabilimento. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.02.125 - Schema statico di semplice appoggio della trave più sollecitata del sistema, in evidenza è la porzione della trave designata ad assorbire i maggiori sforzi. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.02.126 - Assonometria della trave da 2,5 metri con le relative specifiche sulle lavorazioni condotte in stabilimento. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.02.127 - Assonometria della trave secondaria da 2,5 metri con le relative specifiche sulle lavorazioni condotte in stabilimento. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.02.128 - Assonometria della trave da 2,5 metri con le relative specifiche sulle lavorazioni condotte in stabilimento. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.02.129 - Assonometria del pilastro da 3,2 metri con le relative specifiche sulle lavorazioni condotte in stabilimento, in particolare alle estremità. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.02.130 - Assonometria della piastra metallica di collegamento della struttura del modulo alle fondazioni, con un dettaglio del fissaggio mediante viti. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.131 - Assonometria della fondazione del modulo Dado, in dettaglio gli elementi che la compongono con le relative specifiche. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.132 - Assonometria della pavimentazione del modulo Dado al piano terra, in dettaglio gli elementi che la compongono con le relative specifiche. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.133 - Assonometria dell'elemento di tamponamento del piano terra del telaio, con le relative specifiche, la posa è visibile nell'immagine precedente. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.134 - Assonometria con le strutture di elevazione del modulo Dado, in dettaglio il nodo pilastro - trave. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.135 - Assonometria con gli elementi dei tamponamenti verticali del modulo Dado. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.136 - Assonometria dell'elemento parete da 200 centimetri Dado, con gli elementi che lo compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.137 - Assonometria dell'elemento parete da 200 centimetri Dado, con gli strati posati in loco che lo rivestono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.138 - Assonometria dell'elemento parete da 50 centimetri Dado con gli elementi che lo compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.139 - Assonometria dell'elemento parete da 50 centimetri Dado, con gli strati posati in loco che lo rivestono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.140 - Assonometria dell'elemento parete angolare Dado, con le parti che lo compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.141 - Assonometria dell'elemento parete angolare Dado, con gli strati posati in loco che lo rivestono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.142 - Assonometria della tramezza Dado, con gli opportuni punti di ancoraggio. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.143 - Assonometria della elevazione del telaio della chiusura superiore Dado, in dettaglio le specifiche degli elementi che la compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.144 - Assonometria dell'elemento sandwich della chiusura superiore Dado, in dettaglio le specifiche degli strati che lo compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.145 - Assonometria dei tamponamenti della chiusura superiore Dado, in dettaglio le specifiche degli elementi che la compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.146 - Assonometria dell'elemento cassetto Dado, in dettaglio le specifiche degli strati che lo compongono. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.147 - Assonometria modulo Dado con copertura quasi ultimato, mancante è il fissaggio dell'OSB. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.148 - Assonometria del modulo Dado grezzo completato, mancanti sono cappotto e finiture. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.149 - Vista prospettica degli operai mentre osservano gli interni di due moduli affiancati completi di strutture e tamponamenti, prima della posa delle finiture; subito dopo la rimozione dell'osb superficiale sono evidenti gli alloggiamenti impiantistici. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.150 - Pianta del solaio come si presenta subito dopo la sua posa e rimozione dello strato di osb superficiale; è apprezzabile la distribuzione strategica della listellatura nel vano impianti. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.151 - Vista prospettica degli operai mentre osservano la disposizione delle tramezze per realizzare un cavedio al centro, fissandole all'osb posato dopo l'installazione delle tubazioni. (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.152 - Accostamento in pianta dei moduli con i relativi varchi larghi 20 centimetri, sfruttabili per l'installazione su ogni lato del modulo di un cavedio impiantistico della dimensione desiderata (elaborazione dell'autore, fuori scala).

Fig. 04.03.153 - Pianta e sezioni di due moduli affiancati Dado, con controsoffitto, impianti e tramezza interna. (elaborazione dell'autore, scala 1:50).

Fig. 04.03.154 - Pianta e sezioni del telaio del modulo Dado. (elaborazione dell'autore, scala 1:50).

Fig. 04.04.155 - Pianta e sezione del TIR Mega di trasporto con gli elementi Dado. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

Fig. 04.05.156 - Abaco elementi modulo. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

Fig. 04.05.157 - Abaco elementi solaio. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

Fig. 04.05.158 - Abaco elementi parete. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

Fig. 04.05.159 - Abaco elementi copertura. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

Fig. 04.05.160 - Abaco degli infissi standard. (elaborazione dell'autore, scala 1:100).

Fig. 05.01.161 - Render Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.162 - Pianta Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.163 - Prospetto Sud Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.164 - Prospetto Nord Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.165 - Prospetto Ovest Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.166 - Prospetto Est Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.167 - Sezione Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.168 - Sezione Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.169 - Pianta Villa Smeraldo. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.170 - Preparazione del sito. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.171 - Posa dei moduli Dado. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.172 - Posa e fissaggio dei tamponamenti. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.173 - Posa della struttura della copertura. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.174 - Posa e fissaggio delle tamponature della copertura. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.175 - Posa e fissaggio della copertura modulare. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.176 - Posa delle finiture. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.177 - Abaco degli elementi fondazione impiegati. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.178 - Abaco degli elementi dei moduli impiegati. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.179 - Abaco degli elementi solaio impiegati. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.180 - Abaco degli elementi parete impiegati. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.181 - Abaco degli elementi copertura impiegati. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.182 - Abaco degli elementi infissi impiegati. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.183 - Vista render numero 1, salotto-cucina. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.184 - Vista render numero 2, salotto-cucina. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.185 - Vista render numero 3, salotto-cucina. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.186 - Vista render numero 4, salotto-cucina. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.187 - Vista render numero 5, sala pranzo. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.188 - Vista render numero 6, stanza smart-working. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.189 - Vista render numero 7, disimpegno (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.190 - Vista render numero 8, servizi. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.191 - Vista render numero 9, camera singola. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.192 - Vista render numero 10, camera doppia. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.193 - Vista render numero 11, camera doppia. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.194 - Vista render numero 12, camera doppia. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.195 - Vista render numero 13, bagno en suite della camera doppia. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.196 - Vista render numero 14, scalinate di accesso alla dimora. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.197 - Vista render numero 15, rampa di accesso per persone con difficoltà motorie. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.198 - Vista render numero 16, giardino con piscina, “specchi d'acqua" e "sorgente". (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.199 - Vista render numero 17, giardino con piscina, “specchi d'acqua" e "sorgente". (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.200 - Vista render numero 18, giardino con piscina, “specchi d'acqua" e "sorgente". (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.201 - Vista render numero 19, giardino retro abitazione. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.202 - Vista render numero 20, giardino retro abitazione. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.203 - Vista render numero 21, giardino retro abitazione, con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.204 - Vista render numero 22, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.205 - Vista render numero 23, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.206 - Vista render numero 24, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso in ore notturne. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.207 - Vista render numero 24, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso in ore diurne. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.208 - Vista render numero 25, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore notturne. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.209 - Vista render numero 25, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore diurne. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.210 - Vista render numero 26, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore notturne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.211 - Vista render numero 26, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore diurne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.01.212 - Vista render numero 27, in risalto come si presenta la residenza dal retro nelle ore diurne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.213 - Render Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.214 - Pianta Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.215 - Prospetto Sud Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.216 - Prospetto Nord Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.217 - Prospetto Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.218 - Prospetto Dimora Rubino. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.219 - Vista render numero 1, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore diurne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.220 - Vista render numero 2, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso in ore diurne. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.221 - Vista render numero 3, in risalto come si presenta la residenza dal retro nelle ore diurne. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.222 - Vista render numero 4, in risalto come si presenta la residenza dal retro nelle ore diurne. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.223 - Vista render numero 5, rampa di accesso per persone con difficoltà motorie. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.224 - Vista render numero 6, giardino davanti l'abitazione, in risalto l'ingresso in ore diurne. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.225 - Vista render numero 7, in risalto come si presenta la residenza immersa nel giardino nelle ore diurne. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.226 - Vista render numero 7, in risalto come si presenta la residenza immersa nel giardino nelle ore notturne. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.227 - Vista render numero 8, in risalto come si presenta la residenza dal retro nelle ore notturne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.228 - Vista render numero 9, in risalto come si presenta la residenza dal retro nelle ore notturne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.02.229 - Vista render numero 10, in risalto come si presenta la residenza frontalmente nelle ore notturne con prospettiva dall'alto. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.03.230 - Grafici riassuntivi che indicano in percentuale quanto incidono le voci di riuso, riciclo e smaltimento sulla base dei volumi dei materiali. (elaborazione dell'autore).

Fig. 05.03.231 - Grafico finale che indica in percentuale quanto incidono le voci di riuso, riciclo e smaltimento sulla base dei volumi dei materiali di tutto l'immobile. (elaborazione dell'autore).

Bibliografia

Agenzia delle Entrate - Osservatorio del Mercato Immobiliare. *Statistiche regionali 2026. Il mercato immobiliare regionale: Piemonte.* A cura della Direzione regionale Piemonte e dell'Ufficio Statistiche e studi sul mercato immobiliare. Roma: Agenzia delle Entrate, 2026. (https://www.agenziaentrate.gov.it).

ANCC-Coop. *Rapporto Coop 2025: Consumi e stili di vita degli italiani di oggi e di domani.* A cura di Albino Russo. Roma: ANCC-Coop, 2025. (https://www.italiani.coop).

Brand, Stewart. *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. New York: Penguin Books, 1994.

Censis e Federproprietà. *4° Rapporto Federproprietà-Censis. Case dormienti, una ricchezza sommersa: proposte per risvegliare il mercato degli affitti non turistici in Italia (Sintesi dei principali risultati)*. Roma: Censis, 2025. (https://www.censis.it).

Ching, Francis D. K. *Building Construction Illustrated*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014.

Davies, Colin. *The Prefabricated Home*. Londra: Reaktion Books, 2005.

Di Micco, Salvatore. *La casa prefabbricata. Lo sviluppo dell'architettura industrializzata tra tecnica e sostenibilità*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore, 2010.

Imperadori, Marco. *La progettazione con tecnologia stratificata a secco*. Milano: BEMA Editrice, 1999.

Imperadori, Marco. *Sandwich Architecture. Progettare e costruire con i pannelli sandwich poliuretanici*. Milano: Il Sole 24 Ore, 2012.

Imperadori, Marco, Andrea Brambilla, Federico Brunone, Luca Feifer, Gianpiero Salvalai e Alberto Vanossi. *Active House. Progettazione e innovazione con tecnologie di costruzione stratificata a secco.* Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore, 2019.

Istat. *Rapporto annuale 2026. La situazione del Paese.* Roma: Istituto Nazionale di Statistica,2026. (https://www.istat.it).

Istat. «Smart working*: da necessità a nuovo stile di vita». Statistiche Today.* Roma: Istituto Nazionale di Statistica, 25 febbraio 2026. (https://www.istat.it)

Johansson, Glenn. *Design for Disassembly: A Framework.* Linköping: Linköping University, 2002.

Lo Conte, Monica, Marco Marsili, Giulia Corsetti ed Elisa Meli. «Expected Developments in the Number and Type of Italian Households until 2040». *Rivista di Statistica Ufficiale*, nn. 1–2–3 (2023): 5–34. (https://www.istat.it).

Smith, Ryan E., e John D. Quale, a cura di. *Offsite Architecture. Constructing the Future.* New York: Routledge, 2017.

Smith, Ryan E., e James Timberlake. *Prefab Architecture. A Guide to Modular Design and Construction.* Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

Staib, Gerald, Andreas Dörrhöfer e Markus Rosenthal. *Components and Systems. Modular Construction – Design, Structure, New Technologies.* Basilea: Birkhäuser, 2008.

Wolf Haus. *Wolf Haus Professional. Ingegneri del legno – Maestri del comfort.* Campo di Trens: Wolf System, 2023.

Sitografia

Eurostat. "*53% of EU Enterprises Held Remote Meetings in 2024*". Eurostat News Articles, 14 maggio 2025. https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250514-2. (consultato giugno 2026).

Eurostat. "*People in the EU Worked on Average 36 Hours per Week*". Eurostat News Articles, 14 maggio 2025. https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250514-1. (consultato giugno 2026).

Eurostat e Istat. "*Evolution of the Housing Market*". In L'economia europea dall'inizio del millennio: un ritratto statistico. Roma: Istat, 2019. https://www.istat.it/economia-europea-millennio/bloc-2c.html?lang=it. (consultato giugno 2026).

Frusciante, Alessio. "*Mercato immobiliare residenziale: andamento 2025 regione per regione"*. Fisco Oggi, 5 giugno 2026. https://www.fiscooggi.it/portale/-/mercato-immobiliare-residenziale-. (consultato giugno 2026).

Gruppo Rubner. "*Le aziende del gruppo Rubner"*. Aziende del gruppo Rubner. https://www.rubner.com/it/gruppe/gruppo-rubner/aziende-gruppo-rubner/. (consultato giugno 2026).

Istat. "*E-commerce in Italia: quali sono i prodotti più venduti online?*". Dati alla mano, 30 marzo 2023. https://www.istat.it/news-dati-alla-mano/e-commerce-in-italia-quali-sono-i-prodotti-piu-venduti-online/. (consultato giugno 2026).

Istat. "*Previsioni delle famiglie per regione – Base 1/1/2024*". Demografia in cifre. https://demo.istat.it/app/?i=PRF&l=it. (consultato giugno 2026).

Istituto per il Credito Sportivo e Culturale, e Sport e Salute. "*Rapporto Sport 2025: Due italiani su tre scelgono uno stile di vita attivo, sedentarietà ai minimi storici. Il settore sportivo vale l'1,5% del PIL."* Sport e Salute, 29 gennaio 2026. https://www.sportesalute.eu/primo-piano/rapporto-sport-2025-due-italiani-su-tre-scelgono-uno-stile-di-vita-attivo-sedentarieta-ai-minimi-storici-il-settore-sportivo-vale-l1-5-del-pil.html (consultato giugno 2026).

Rubner. "*100 anni di Rubner*". Rubner Grandi strutture in legno.https://www.rubner.com/it/costruzioni-legno/100-anni-rubner/. (consultato giugno 2026).

Rubner - Grandi strutture in legno. "*Complesso scolastico Jean-Louis Etienne"*. Referenze. https://www.rubner.com/it/riferimenti/costruzioni-legno/jean-louis-etienne/. (consultato giugno 2026).

Rubner Haus. "*Blockhaus*". Sistemi costruttivi.https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/sistemi-costruttivi/blockhaus/. (consultato giugno 2026).

Rubner Haus. "*Casablanca, la tua casa di legno intonacata"*. Sistemi costruttivi. https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/sistemi-costruttivi/casablanca/. (consultato giugno 2026).

Rubner Haus. "*Come si realizza una casa Rubner"*. Il sogno Rubner. https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/come-si-realizza-una-casa-rubner/. (consultato giugno 2026).

Rubner Haus. "*Diamo forma ai tuoi sogni: ecco le case in legno moderne*". Storie di case. https://www.rubner.com/it/haus/referenze/. (consultato giugno 2026).

Rubner Haus. "*Experience - la tua casa in legno chiavi in mano*". I livelli di allestimento. https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/livelli-di-allestimento/experience/. (consultato giugno 2026).

Rubner Haus. "*Il livello d'allestimento: Basic"*. I livelli di allestimento. https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/livelli-di-allestimento/basic. (consultato giugno 2026).

Rubner Haus. "*Rubner Haus: La tua soluzione per una casa in legno prefabbricata*". Rubner Haus. https://www.rubner.com/it/haus/. (consultato giugno 2026).

Rubner Haus. "*Rubner Haus Certificates"*. Journey to your Rubner Haus. https://www.rubner.com/en/haus/your-rubner-haus-dream/certificates/. (consultato giugno 2026).

Rubner Haus. "*Sistema a telaio*". Sistemi costruttivi.https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/sistemi-costruttivi/sistema-a-telaio/. (consultato giugno 2026).

Rubner Haus. "*Una casa Rubner vince ai CasaClima Awards 2025*". News. https://www.rubner.com/it/news/haus/rubner-haus-vince-ai-casaclima-awards-2025/. (consultato giugno 2026).

Rubner Haus. "*Villa prefabbricata con piscina"*. Studio - soluzione completa su misura.https://www.rubner.com/it/haus/il-sogno-rubner/villa-prefabbricata-con-piscina/. (consultato giugno 2026).

Wolf Haus. *"La tua casa in legno: linee costruttive e cataloghi"*. Wolf Haus Italia. https://www.wolfhaus.it/la-tua-casa-in-legno. (consultato giugno 2026).

Ringraziamenti

Grazie, a tutti coloro che durante questo lungo cammino mi hanno sempre sostenuto, ognuno a suo modo e possibilità, ogni vostro gesto è stato prezioso.

Ci tengo a dedicare la laurea a coloro che, ancora prima che io nascessi, fecero infiniti sacrifici per regalarmi questa vita e un posto nel mondo, e a chi durante questo cammino è stato al mio fianco.

A voi, voi che sapete bene quanto la vita possa essere impegnativa e che, proprio per questo, avete fatto di tutto per garantirmi un futuro più leggero e meno faticoso, dandomi l'opportunità di puntare a una professione in linea con ciò che mi piace, sostenendomi in ogni momento, per questo vi vorrei dire con tutto il cuore Grazie Mamma e Papà.

Un enorme Grazie alle mie sorellone Boa e Pacioc, che ci sono sempre state ad ascoltarmi e a supportarmi, regalandomi momenti di felicità e risate durante le molteplici ore passate in cameretta.

Ci tengo a ringraziare i miei nonni che, dal cielo e in terra, mi sosterranno sempre e comunque, in ogni mio passo.

A te, te che sei entrata nella mia vita all'improvviso e che, anche se non lo sapevi, semplicemente esserci mi ha dato tantissimo... possiamo dire che mentre affrontavo la magistrale te eri lì, una piccola ma costante distrazione che però mi ha ravvivato lo spirito. Un messaggio, un bigliettino, una serata assieme: per te erano piccoli gesti o momenti, invece per me sono stati un attimo di pace... Grazie Gloria.

Ancora un infinito grazie a tutti voi, solo sapere che credevate in me mi ha dato la grinta per continuare, abbattendo qualsiasi ostacolo si frapponesse tra me e il mio obiettivo, portandomi a realizzare il mio sogno più grande, ovvero che tutti voi siate fieri di me...