Raffaella Clerico

Canica: La nascita di un’abitazione moderna in legno, terra e paglia

Tesi Magistrale

Politecnico di Torino

POLITECNICO DI TORINO
Corso di Laurea Magistrale in
Architettura per il Progetto Sostenibile

Relatore:
Prof. Andrea Bocco

Candidata:
Raffaella Clerico

Luglio 2023

"L'architettura è davvero benessere. Penso che la gente voglia sentirsi bene in uno spazio ... Da un lato si tratta di un riparo, dall'altro si tratta anche di un piacere."

Zaha Hadid

Indice

Abstract 11

Premessa 13

Metodologia 15

Parte I

1 Contesto geografico 17

1.1 Inquadramento territoriale

2 Attori coinvolti 21

2.1 Arch. Maddalena Ferraresi
2.2 Carlo Gazzi

3 Sito di progetto 27

3.1 Caratteristiche morfologiche
3.2 Edificio preesistente
3.3 Confronto con edificato esistente di Cafragna

Parte II

4 Iter progettuale 35

4.1 Progettazione partecipata
4.2 Studio del sito di progetto
4.3 Progetto esecutivo abitazione

5 Descrizione del progetto 47

5.1 Descrizione dell'area
5.2 Preparazione del cantiere
5.3 Fondazioni
5.4 Struttura
5.5 Copertura
5.6 Pavimentazioni e davanzali
5.7 Pareti esterne e interne
5.8 Intonaci
5.9 Serramenti
5.10 Prospetti con materiali
5.11 Distribuzione degli ambienti
5.12 Scale interne
5.13 Impianti

Parte III

6 LCA 85

6.1 Banca dati e criteri di selezione dei valori
6.2 Calcoli relativi alla quantità dei materiali
6.3 Calcoli valori PEI e GWP tramite ÖKOBAUDAT
6.4 GWP
6.5 Confronto con i casi studio
6.6 Alternativa con fondazioni in gabbioni di ferro e riempimento in sassi
6.7 Conclusioni

Prospettive per il futuro 105

Bibliografia 107

Sitografia 111

Ringraziamenti 113

Allegati 115

Abstract

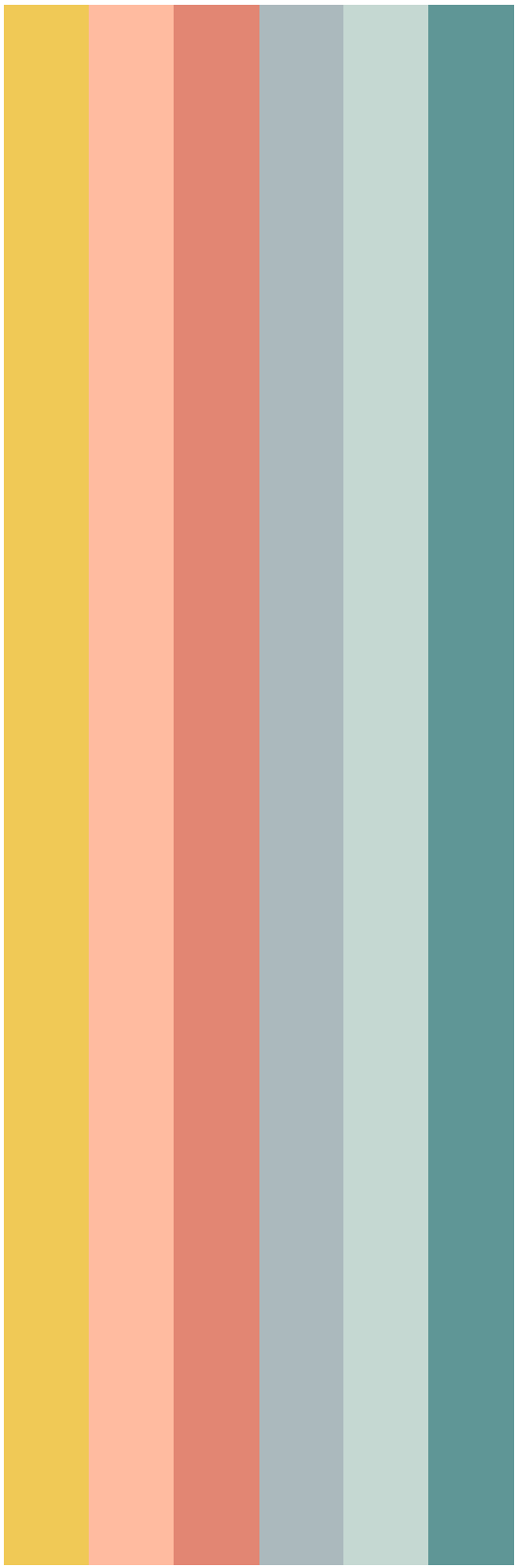
La tesi è improntata all'analisi del progetto sotto molteplici aspetti, con l'obiettivo di stabilire l'effettiva sostenibilità dell'edificio e della tecnica costruttiva utilizzata. Per questo è stato necessario indagare l'edificio secondo una scomposizione tecnologica e ambientale, con specifico riferimento ai materiali e alle tecniche impiegate. Si seguirà il flusso logico che parte della contestualizzazione dell'edificio nel territorio e dell'approccio utilizzato dall'architetto progettista con il committente, per concludere con una disamina accurata del processo edilizio e dell'analisi di impatto ambientale dell'edificio. Quest'ultimo aspetto verrà analizzato con la metodologia Life Cycle Assessment (LCA) con l'utilizzo della banca dati tedesca Ökobaudat, con particolare riferimento ai valori di *Embodied Energy* e di *Global Warming Potential*.

Premessa

Come possiamo riconoscere un progetto di bioedilizia?
Il termine bioedilizia nasce dall'espressione tedesca *Baubiologie*, coniata nel 1976 dall'Institut für Baubiologie a Neubeuern in Germania. L'obiettivo dell'istituto era, ed è tuttora, quello di rapportare il benessere dell'individuo in relazione all'ambiente edificato in cui si trova; ha stilato un elenco di principi legati all'edilizia bioecologica, che comprendono il clima interno all'abitazione, gli arredi, l'ambiente, l'energia, l'acqua, ecc. Oltre che al benessere dato dall'utilizzo di materiali naturali esenti da sostanze nocive, della minimizzazione del consumo energetico e dell'utilizzo di fonti rinnovabili, si pensa anche a curare le proporzioni armoniche e le forme dell'edificio, di favorire le percezioni sensoriali e, infine, prediligere metodologie costruttive locali. Il focus è sull'uomo che abita, occupandosi sia del suo benessere fisico che quello psicologico, in relazione all'abitazione e al luogo su cui essa è edificata.

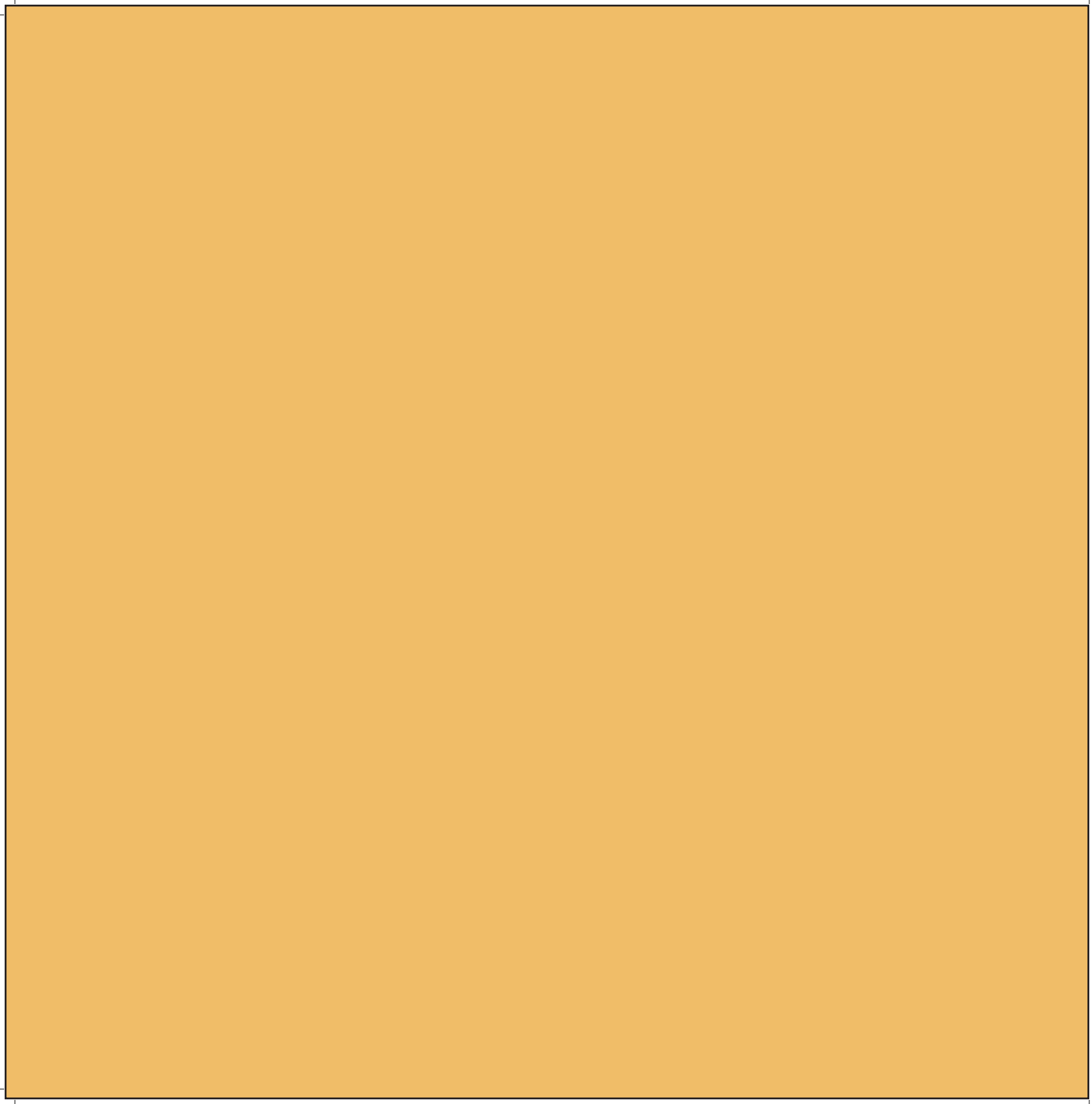
Metodologia

Il sopralluogo e con il colloquio con il proprietario, il signor Carlo Gazzi, sono stati il punto di partenza della metodologia di stesura della tesi. Successivamente mi sono recata presso lo studio dell'architetto Maddalena Ferraresi per visionare il materiale inerente l'edificio e comprendere l'iter progettuale che è stato seguito per la realizzazione dell'immobile. Dopo aver ricevuto il materiale dall'architetto ne ho fatto una cernita, suddividendolo in elaborati di pre-progetto, elaborati grafici, computi metrici estimativi e fotografie di cantiere.
La fase successiva è stata lo studio del materiale e la comprensione delle fasi costruttive. Solo a questo punto ho potuto redarre un inventario dettagliato dei materiali utilizzati per la realizzazione dell'edificio. L'inventario è stato fondamentale per l'analisi Life Cycle Assessment (LCA) che permette di calcolare l'impatto ambientale dell'intero ciclo di vita dell'edificio. All'interno di questa analisi mi sono focalizzata in particolare sui valori PEI (P*rimary Energy Intensity* o EE-*Embodied Energy*) e GWP (*Global Warming Potential*). La banca dati utilizzata per questa analisi è stata Ökobaudat, la banca dati messa a disposizione dal governo tedesco, fra le più complete in Europa, che si basa sulla norma UNI EN 15804.



1// CONTESTO GEOGRAFICO

1.1 // INQUADRAMENTO TERRITORIALE



1.1 Inquadramento territoriale

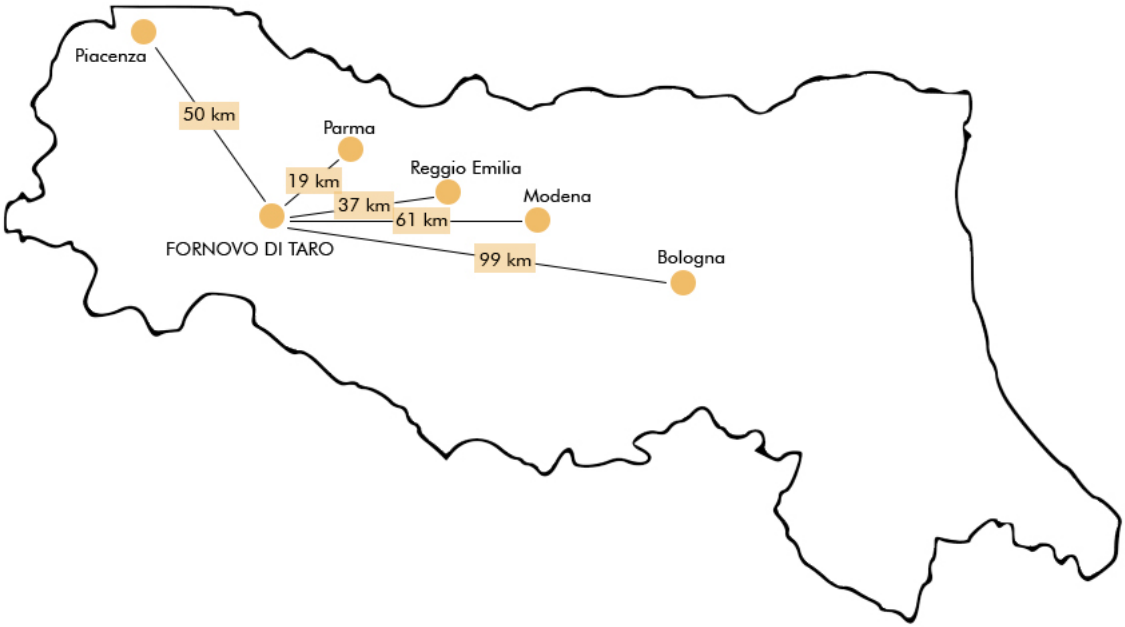


Figura 1- Posizione del Comune di Fornovo di Taro rispetto alle principali città limitrofe e al capoluogo di regione

Note:
Elaborazione grafica personale.

Fornovo di Taro si trova nella regione Emilia Romagna, in Nord Italia.
Il comune si insedia lungo la sponda orientale del fiume Taro e conta circa 6000 abitanti. Fornovo di Taro è il punto di raccordo tra la Pianura Padana e la Lunigiana, regione storica sita fra l'Emilia Romagna, la Liguria e la Toscana. La morfologia del territorio è caratterizzata da avvallamenti molto pronunciati e da un'ottima esposizione, per questo la zona è dedita, in particolare, alla produzione di vini pregiati. Il terreno è caratterizzato dalla presenza di argilla limosa nelle zone limitrofe al fiume Taro.
Le principali città dell'Emilia Romagna sono facilmente rraggiungibili da Fornovo di Taro: dista 50 km da Piacenza, 19 km da Parma, 37 km da Reggio Emilia, 61 km da Modena e 99 km da Bologna. (Figura 1)

2// ATTORI COINVOLTI

2.1 // ARCH. MADDALENA FERRARESI
2.2 // CARLO GAZZI

2.1 Architetto Maddalena Ferraresi

Figura 1 - L'architetto Maddalena Ferraresi

Maddalena Ferraresi si laurea con lode nel 1990 al Politecnico di Milano. Dal 1991 è libera professionista presso lo studio Archesis di Milano, in cui sviluppa una metodologia che prevedere uno stretto coinvolgimento nella fase progettuale e in quella esecutiva del committente: quella che lei definisce 'progettazione partecipata'. Inoltre, l'architetto conduce una continua ricerca e sperimentazione con i materiali naturali e con la progettazione bioclimatica. Si è interessata da sempre alla bioarchitettura.
Dal 1992 al 2000 è stata membro dell'istituto Ecopolis-progetto città di Milano di cui è una delle fondatrici. Ha notevole esperienza nei progetti che prevedono edifici in autocostruzione.
Nel 2005 fonda l'associazione Bioecoservizi che si occupa di progettazione e promozione culturale nel campo dell'architettura sostenibile. Conduce, inoltre, seminari e lezioni riguardanti la bioarchitettura.

Figura 2 - L'architetto Maddalena Ferraresi

Dal 2008 conduce l'attività di formazione nelle tecnologie della terra cruda e di edilizia sostenibile, coordina cantieri di autocostruzione e progetti di abitazione solidale.
Realizza manufatti sperimentali con le tecnologie della terra cruda in luoghi pubblici.
Ad aprile 2017 presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria, l'arch.Ferraresi tiene un seminario dal titolo *ASF ITALIA: esperienze di architetture collaborative nei PVS*, con Beatrice Galimberti e Giuditta De Vecchi. Il seminario trattava il progetto della Scuola Primaria a Mbakadou, in Senegal. ASF ITALIA è un'associazione no profit nata nel 1998 che si occupa di promuovere azioni in aree geografiche critiche; queste azioni riguardano l'ambito architettonico, urbanistico e di conservazione del patrimonio storico culturale. Il fine di questa associazione è promuovere e innescare dei processi che portino allo sviluppo sostenibile e al potenziamento delle comunità locali.

Note:
Le fotografie sono di proprietà di Maddalena Ferraresi.

2.2 Carlo Gazzi

Figura 3 - Il committente, Carlo Gazzi

Carlo Gazzi nasce a Parma 45 anni fa e di professione fa l'illustratore e il grafico. Ha vissuto per alcuni anni a Milano, poi nel 2016 ha deciso ritornare sui colli parmensi, gli stessi colli che da diciottenne attraversava in vespa. La scelta del terreno su cui edificare l'abitazione è iniziata con una ricerca online dei terreni proposti dalle agenzie immobiliari, poi, non essendo soddisfatto dei risultati, ha deciso di cambiare approccio e recarsi sul posto, decidendo quale doveva essere il luogo esatto in cui voleva vivere; così ha trovato l'appezzamento di terreno perfetto: la storia di Canica inizia qui.

Dopo aver valutato le proposte progettuali di alcuni architetti milanesi e torinesi ha deciso di rivolgersi all'arch. Maddalena Ferraresi. Carlo Gazzi non era soddisfatto dell'approccio troppo 'freddo' dei professionisti incontrati precedentemente e ha trovato in Maddalena Ferraresi una professionista attenta all'ambiente e alla qualità dell'abitare. L'architetto ha utilizzato la metodologia dell'architettura partecipata, includendo il committente nel progetto, rendendolo parte essenziale delle fasi decisionali in ogni parte del progetto.

Note:
Fonte della fotografia:
https://www.carlogazzi.com/

3// SITO DI PROGETTO

3.1 // CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE
3.2 // EDIFICIO PREESISTENTE
3.3 // CONFRONTO CON EDIFICATO ESISTENTE DI CAFRAGNA

3.1 Caratteristiche morfologiche

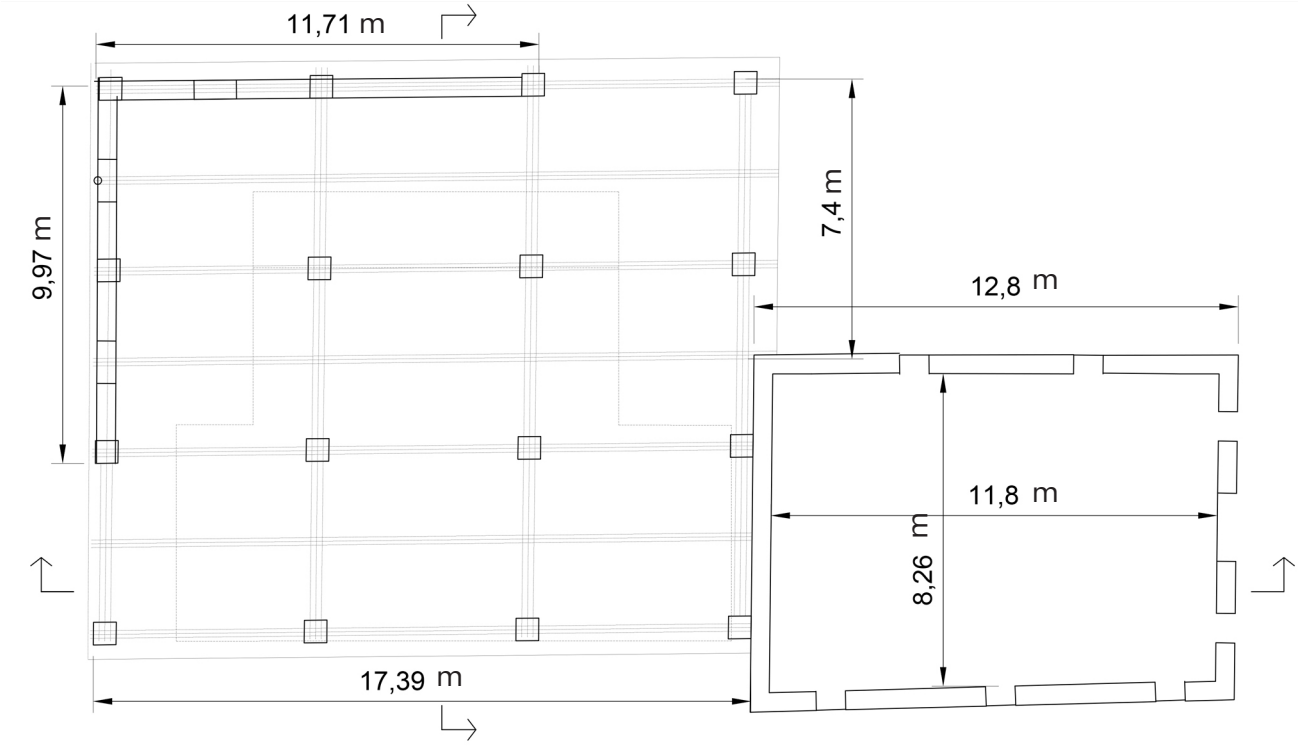
Figura 1- Edificio preesistente

L'edificio, Canica, si trova a Cafragna nel comune di Fornovo di Taro, nei colli parmensi. La morfologia del territorio è caratterizzata da avvallamenti molto pronunciati e da un suolo argilloso. Precedentemente, sul medesimo appezzamento di terreno, esisteva un altro edificio, ora non più esistente. La relazione geologica presentata dal dott. Armando Conti ha evidenziato come l'edificio in progetto risieda in parte su un terreno che in passato è stato soggetto al peso dato dall'edificio che vi insisteva. L'obiettivo della relazione geologica è quello di fornire una base tecnica d'indagine che garantisca l'idoneità del terreno a supportare una nuova edificazione.

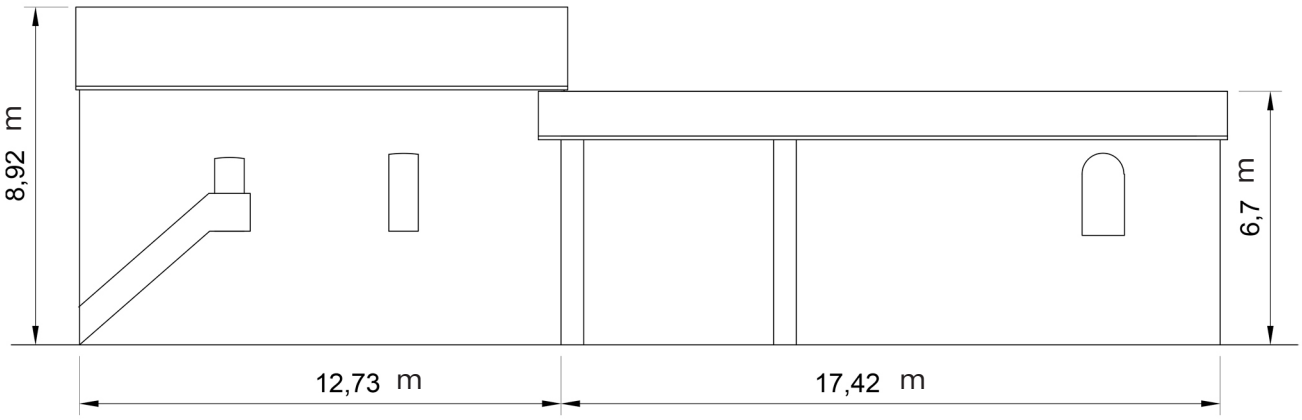
Il profilo in elevato dell'abitazione di Carlo Gazzi è simile a quello dell'edificio preesistente che è crollato, sul cui sito (sgombro) è stato costruito l'edificio oggetto di studio. Il comune di Fornovo di Taro ha espresso all'arch. Ferraresi la necessità di mantenere, per quanto possibile, lo stesso il perimetro e la stessa altezza dell'edificio preesistente. Carlo Gazzi desiderava un'abitazione ad un solo piano e questa imposizione di volumetria data dal comune ha notevolmente aumentato i tempi di realizzazione, i costi e l'impatto ambientale.

A fianco vi sono le fotografie e nelle pagine seguenti le restituzioni grafiche che sono state presentate al Comune riguardo l'edificio preesistente (figura 1).

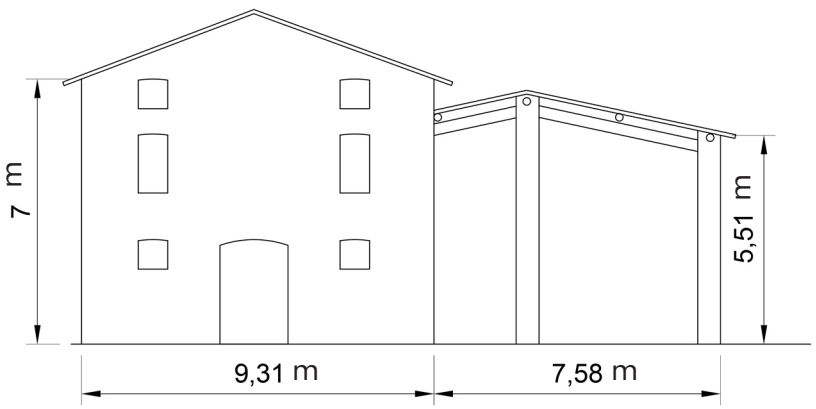
3.2 Edificio preesistente: restituzioni grafiche



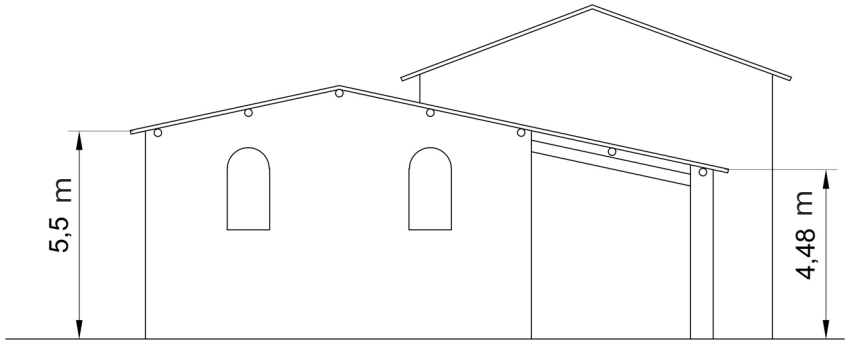
pianta piano terra
scala 1:200



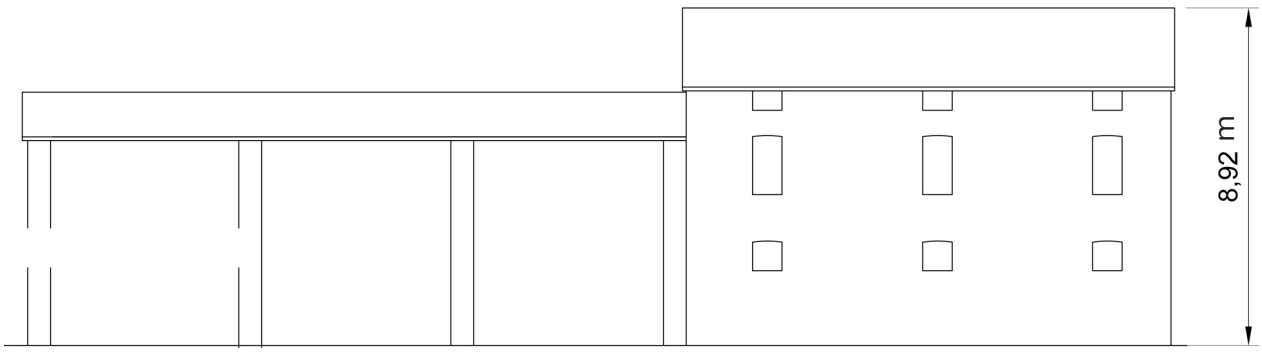
Prospetto est
scala 1:200



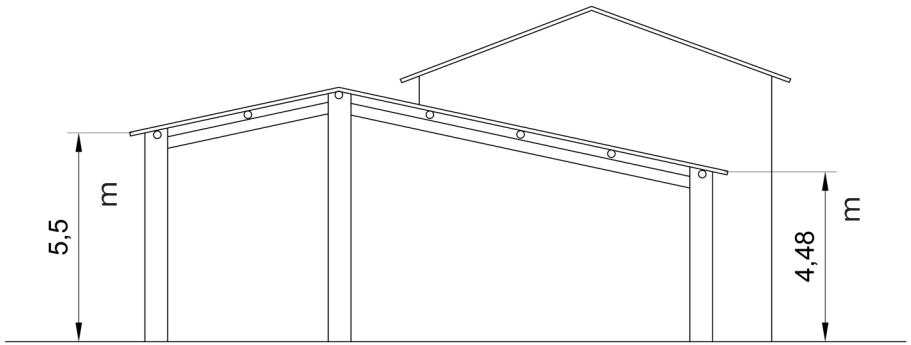
Prospetto sud
scala 1:200



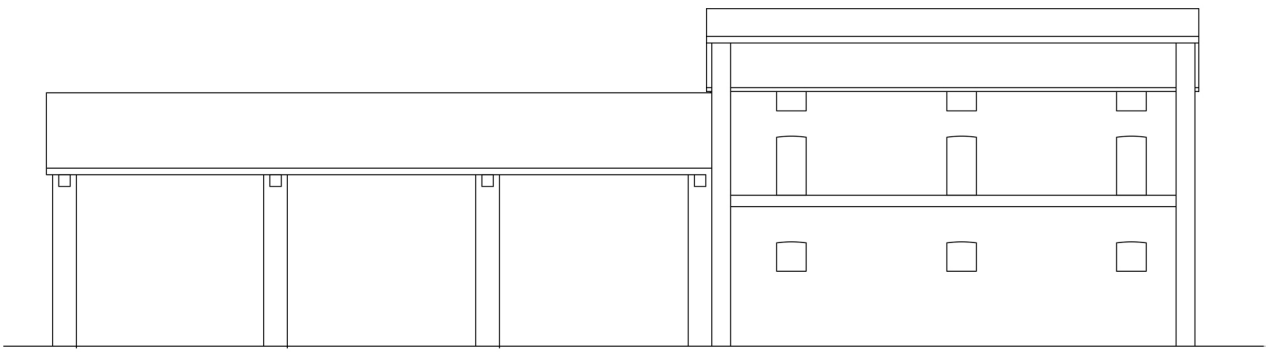
Prospetto nord
scala 1:200



Prospetto ovest
scala 1:200



sezione trasversale
scala 1:200



sezione longitudinale
scala 1:200

Note:
Gli elaborati grafici sono di proprietà dell'Arch.
Maddalena Ferraresi.

3.3 Confronto con edificato esistente di Cafragna

Per garantire un idoneo inserimento dell'edificio in progetto nel contesto ambientale circostante, il Comune di Fornovo di Taro ha richiesto la presentazione di una tavola dei caratteri tipologici. Questo ha permesso di illustrare come l'abitazione in progetto si integrasse nel contesto edilizio di Cafragna, infatti, sono stati presi a riferimento alcuni caratteri peculiari degli edifici della zona per la progettazione dell'abitazione di Gazzi. (figura 2)

FALDE ASIMETTRICHE A DOPPIA ALTEZZA

CORPI SPORGENTI FUORI SAGOMA CON TETTO RIBASSATO

BUCATURE AD ARCO E INTONACI IN TINTE NATURALI

Figura 2 - Edifici di Cafragna presi a riferimento

Note:
Le fotografie e gli eleborati grafici sono di proprietà di Maddalena Ferraresi.

4// ITER PROGETTUALE

4.1 // PROGETTAZIONE PARTECIPATA
4.2 // STUDIO DEL SITO DI PROGETTO
4.3 // PROGETTO ESECUTIVO ABITAZIONE

4.1 Architettura partecipata

L'iter progettuale ha avuto inizio con la fase della progettazione partecipata, che verrà spiegata di seguito, ed è un aspetto fondamentale per l'approccio dell'architetto Ferraresi.
In bioarchitettura l'edificio non è visto solamente come un contenitore, come un oggetto costruito, ma nel suo rapporto con chi lo vive. È fondamentale il rapporto fra il committente e l'ambiente in cui il progetto si inserisce, con la storia del luogo, con l'architettura tradizionale e con le risorse del territorio.
Per quanto riguarda il rapporto che hanno le persone con l'ambiente interno all'edificio, non vi è solo un relazione fisica e geometrica, ma anche emotiva che implica la proiezione dei propri valori sull'edificio. Per questo motivo è importante la consapevolezza da parte del progettista dei valori che si vogliono trasmettere e integrare nel progetto.

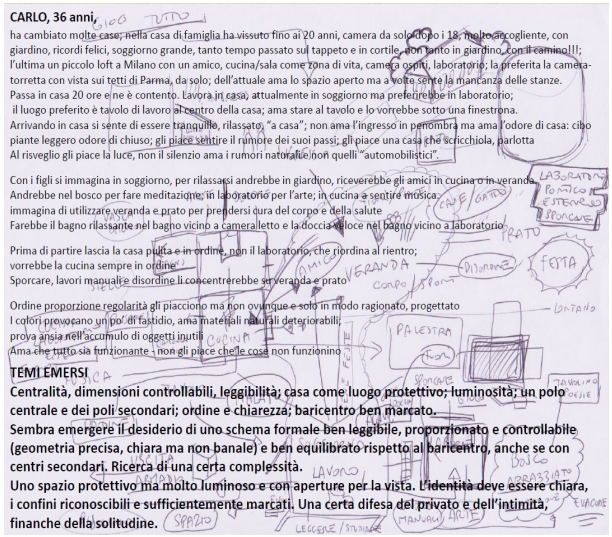
Un altro aspetto molto importante quando si decide di abitare in un edificio realizzato con materiali naturali è la consapevolezza della manutenzione che sarà necessaria.

Carlo Gazzi desiderava una casa già vissuta, un casale storico, ma durante la sua ricerca immobiliare non ne ha trovato nessuno, quindi ha scelto di realizzare un'abitazione *ex novo* che gli desse una sensazione di vissuto, con superfici irregolari.

Il suo obiettivo era vivere in un edificio che invecchiasse bene e che non sembrasse nuovo per sempre.

L'iter progettuale si è sviluppato in più fasi: la progettazione partecipata, lo studio del sito di progetto e le verifiche urbanistiche, il progetto esecutivo dell'abitazione e, infine, la realizzazione dell'opera.

La prima fase menzionata si è basata su alcuni elementi che l'arch. Ferraresi ha studiato durante la sua carriera: l'aspetto della 'progettazione sensibile', cioè il rapporto che le persone hanno con lo spazio e il suo equilibrio armonico, e, infine, l'esperienza degli spazi teatrali in cui si propone un racconto di vita, di come una persona si immagina di vivere la casa.



L'ABITARE PERSONALE
Figura 1 - Questionario personale

CASA NO
Figura 2 - Identificazione da parte dei committenti di cosa non piace

Il percorso di progettazione partecipata che l'architetto ha affrontato con Carlo Gazzi e la sua compagna si è svolto in sei tappe. La prima è stata proporre un questionario individuale in cui erano poste alcune domande volte a conoscere l'età, i ricordi legati alle case che hanno frequentato nella loro vita, cosa è piaciuto e cosa no di queste abitazioni. È stato chiesto loro di pensare al vissuto nell'attuale casa e ricordare odori, rumori, sensazioni e percorsi e mappe emotive, chiedendosi dove avessero paura, in che locale andassero quando volevano stare soli e così via. È stato chiesto loro di immaginare la loro futura abitazione e il tipo di vita che avrebbero voluto si svolgesse al suo interno. Da questa domanda sono emersi i "temi progettuali" di entrambi e, quindi, i loro desideri e le qualità che per loro erano importanti. (figura 1)

L'architetto ha poi proposto loro, sempre in forma individuale, di raccogliere immagini e appunti di cosa a loro non piaceva e dava cattive sensazioni: questa fase si chiama "CASA NO". Questa operazione di indicare cosa non piace è più immediata rispetto a fare la medesima operazione con le cose positive, quindi garantisce migliore comprensione al committente di cosa desidera. Ad esempio, a Carlo Gazzi non piacevano oggetti, finiture, arredi moderni.
(figura 2)

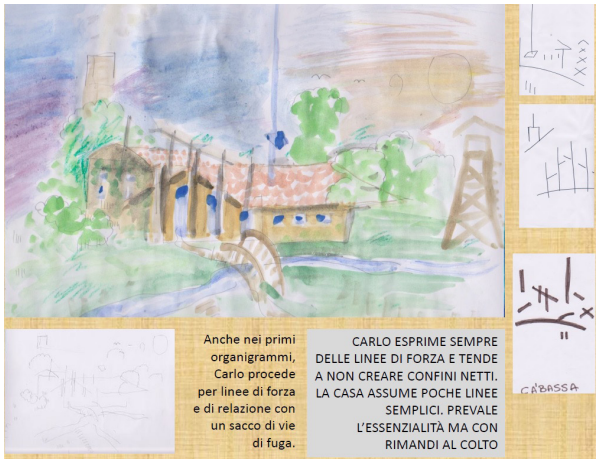
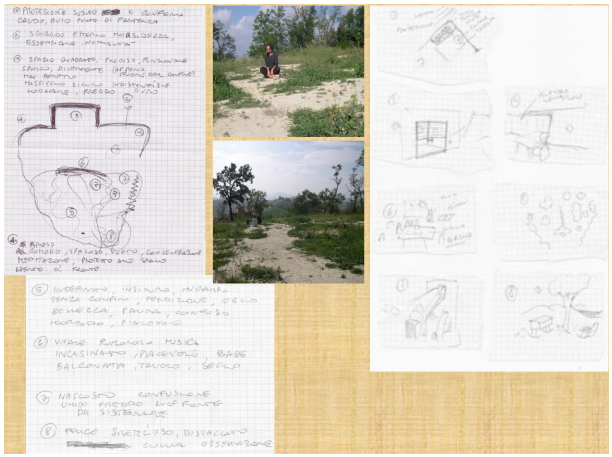


Figura 3 - Immaginare la nuova abitazione

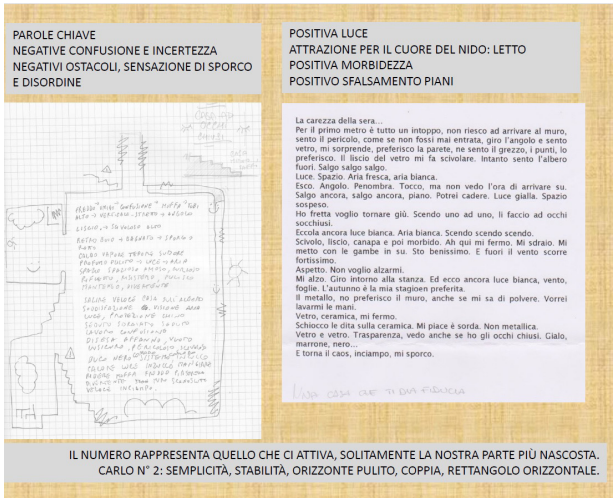
La seconda tappa è costituita da un lavoro grafico tramite una pratica meditativa. L'architetto ha raccontato loro una storia e dovevano immaginare cosa sarebbe successo e, successivamente restituire un disegno in modo molto veloce, così che la parte razionale del cervello non intervenisse a modificare ciò che era stato immaginato. Da queste restituzioni grafiche si sono estrapolate le linee di contorno e, quindi, il simbolo dell'abitazione e il suo nome: Canica. (figura 3)

SOPRALLUOGO 1
Figura 4 - Primo sopralluogo



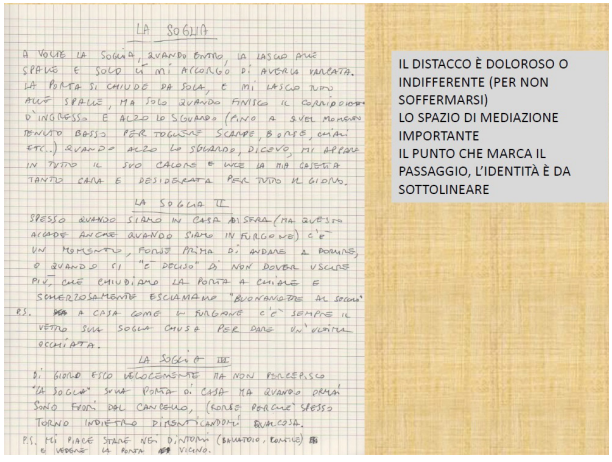
SOPRALLUOGO 2
Figura 5 - Secondo sopralluogo

La terza tappa ha riguardato la percezione sensoriale pratica, con una serie di sopralluoghi e azioni sul luogo (figura 4). È stato svolto un lavoro sui sensi. In questo caso ci si è limitati alle percezioni visive, dato che il terreno era sgombro e non c'era un edificio preesistente. Successivamente si sono ascoltate le sensazioni che dava il luogo e si sono tracciati fisicamente i confini approssimativi con dei paletti e del nastro segnaletico da cantiere.



CAREZZA DELLA CASA
Figura 6 - Analisi sensitiva dell'abitazione in cui vivevano

La fase della "carezza della casa" riguardava la prima casa in cui i committenti vivevano all'epoca e poi quella in progetto. Nell'abitazione in cui vivevano, a occhi chiusi e con la mano destra appoggiata al muro, si percorse tutto l'interno dell'edificio e si annotarono le sensazioni che si provano. Le sensazioni positive sono state annotate e riproposte nel nuovo edificio: questo è il momento in cui si è iniziato a tracciare il perimetro della nuova abitazione. (figura 6)



SOGLIA
Figura 7 - Analisi sensitiva sulla soglia

Inoltre, è stato importante il lavoro sulla soglia, punto di confine fra interno dell'abitazione, luogo sicuro, e l'esterno.
Da questo momento si è cominciato a definire gli spazi interni e a tracciarli sul luogo, in questo caso con nastri bianchi e rossi. (figura 7)

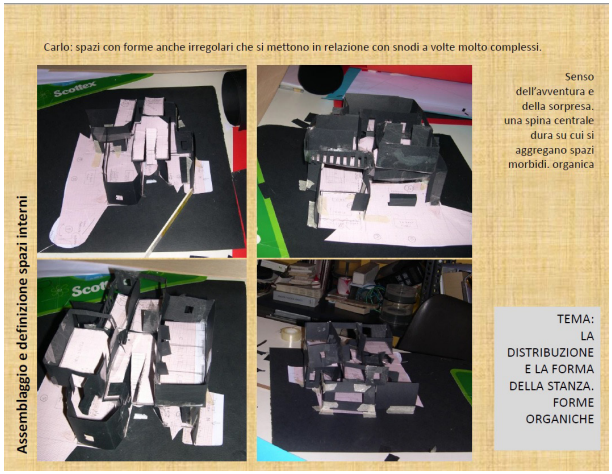


Figura 8 - Plastici

La quarta tappa è stata la realizzazione manuale di plastici in cartoncino. Sono state riportate le forme dell'edificio su un foglio quadrettato e, di conseguenza, gli spazi e i locali dentro ad esse. Da questo passaggio si è giunti alla definizione degli spazi e delle loro proporzioni. (figura 8)

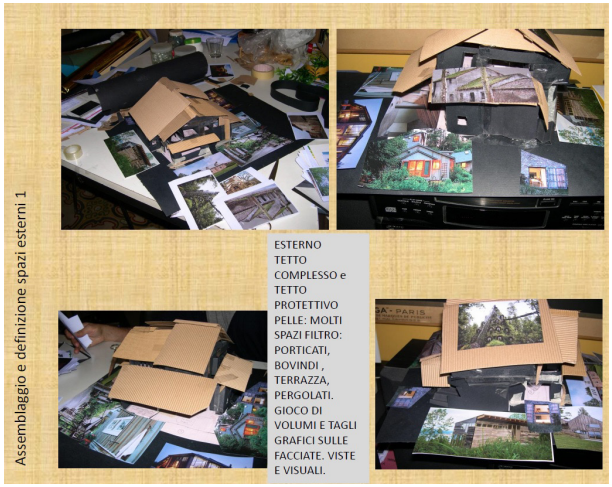


Figura 9- Plastici

La quinta tappa è stata dedicata a immaginare cosa si desiderasse per l'esterno, le sensazioni che venivano trasmesse dal luogo e, quindi, i materiali che si desideravano, oltre che la proporzione fra parete opaca e serramenti. (figura 9)

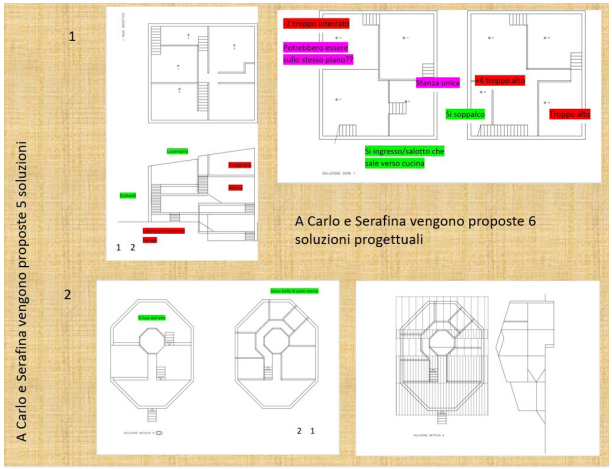


Figura 10 - Meta-progetto

La sesta e ultima tappa è stata la definizione del meta-progetto e le prime soluzioni progettuali. In questa tappa sono state utilizzate linee semplici e poco dettagliate, per non intimorire i clienti con un dettaglio grafico eccessivo e distrarli dal comprendere il progetto. Sono state richieste critiche e sono stati studiati i flussi di luce, di aria, di percorrenza delle persone.
(figura 10,11,12)

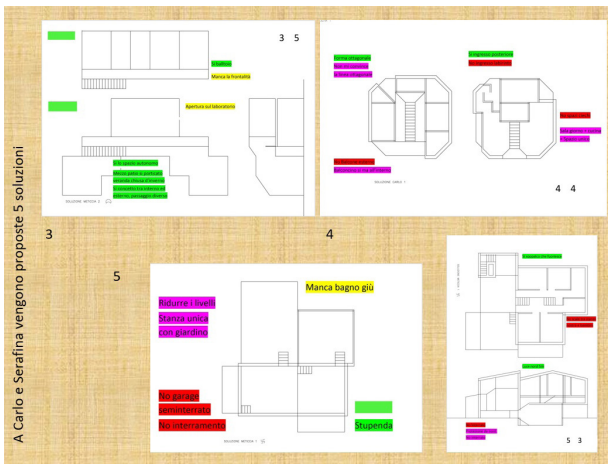


Figura 11 - Meta-progetto

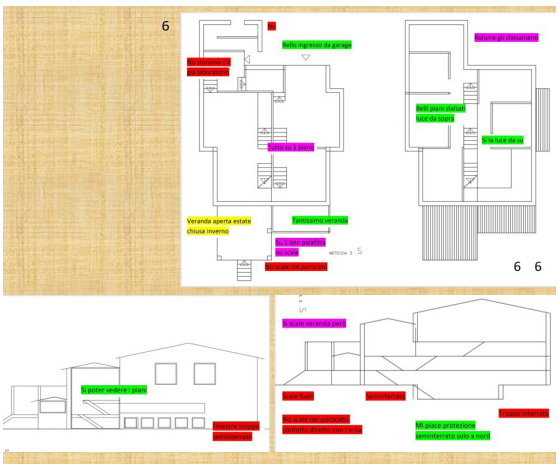


Figura 12 - Meta-progetto

Da questo momento è iniziato il confronto con l'ufficio tecnico comunale e sono stati analizzati i materiali e le tecnologie costruttive locali.

Si sono dovute rispettare norme urbanistiche e architettoniche, in particolare a Fornovo di Taro vi è un regolamento paesaggistico che impone il rispetto delle tipologie formali locali.

L'architetto ha fornito al committente alcune schede informative sui vari materiali costruttivi, con i rispettivi pro e contro (terra cruda, paglia, legno ingegnerizzato, calce e canapulo, ecc). Alla fine di questa analisi, sono rimasti solo due materiali plausibili per il committente: terra-paglia e calce-canapulo.
È stato realizzato un computo di massima per comprendere la quantità di materiale necessario alla realizzazione dell'edificio e, poi, un computo metrico dettagliato sulla base del quale sono stati chiesti preventivi. Al termine del confronto si è deciso di realizzare l'abitazione in terra-paglia e si è mediato con l'impresa esecutrice su alcuni aspetti di scelta dei materiali.

4.2 Studio del sito di progetto

L'analisi del sito di progetto si basa sullo studio della tipologia del terreno da parte del geologo dott. Armando Conti e dall'individuazione dei caratteri costruttivi presenti a Cafragna. Questo ha portato alla consapevolezza di quale fosse l'orientamento progettuale da perseguire per garantire un idoneo inserimento dell'edificio nel territorio circostante.

Il dott. Conti, come si evince dalla relazione geologica da lui redatta ad agosto 2015, ha analizzato il suolo del terreno di Gazzi utilizzando i dati acquisiti nel 2008 dal Piano Urbanistico per la lottizzazione residenziale del sito "Le Coste", località in cui si trova il terreno del Sig. Gazzi. Facevano parte di quegli studi i carotaggi del suolo volti ad indagare le caratteristiche meccaniche e di impermeabilità del medesimo. Inoltre, sono state svolte altre 4 penetrazioni a maggio 2015 per indagare il suolo, che si sono spinte fino a 10 metri di profondità. Ciò che è emerso è la presenza di argille azzurre, una tipologia di terreno non adatta a soluzioni di fondazione a plinti isolato, per il possibile verificarsi di cedimenti localizzati in un punto specifico del terreno.

La soluzione che è stata intrapresa è stata quella delle fondazioni a travi rovesce cordolate, così da impattare meno a livello ambientale e di costo rispetto ad una fondazione a platea, ma potendo comunque garantire una stabilità uniforme.

Una volta effettuate queste verifiche del terreno, l'architetto Ferraresi ha studiato il sito di progetto a livello topografico e urbanistico e presentato una tavola di inquadramento al Comune. Fra gli elementi presentati vi è la tavola RUE con indicazione della destinazione d'uso del sito di progetto come 'ambiti per nuovi insediamenti'. Inoltre, è stato indicato il sedime di proprietà sull'estratto di mappa catastale; infine, su quest'ultimo, sono state inserite le sagome dell'edificio preesistente per lo stato di fatto e dell'edificio nuovo per lo stato in progetto.

4.3 Progetto esecutivo dell'abitazione

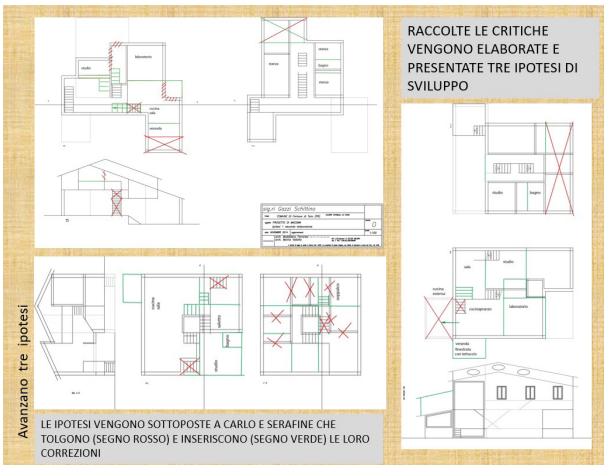


Figura 13 - Proposte progettuali

Ai committenti sono state proposte tre alternative progettuali, nelle quali i committenti hanno evidenziato in rosso ciò che desideravano eliminare e in verde ciò che andava aggiunto. (figura 13)

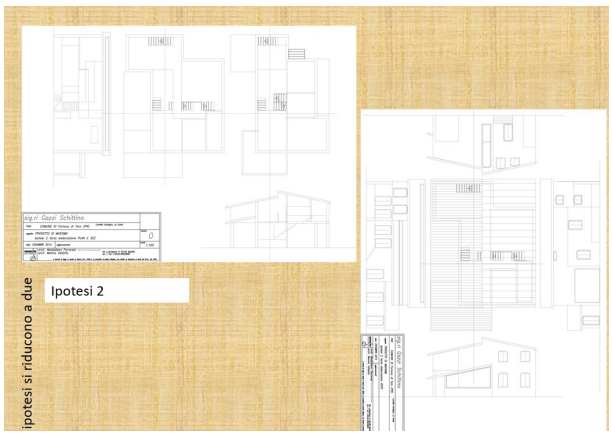


Figura 14- Proposte progettuali

Dal confronto con la committenza sono state redatte due proposte progettuali, le quali integravano gli aspetti emersi dalle precedenti proposte. (figura 14)

Note:
Le fotografie e gli eleborati grafici sono di proprietà di Maddalena Ferraresi.

5// DESCRIZIONE DEL PROGETTO

5.1 // DESCRIZIONE DELL'AREA
5.2 // PREPARAZIONE DEL CANTIERE
5.3 // FONDAZIONI
5.4 // STRUTTURA
5.5 // COPERTURA
5.6 // PAVIMENTAZIONI E DAVANZALI
5.7 // PARETI ESTERNE E INTERNE
5.8 // INTONACI
5.9 // SERRAMENTI
5.10 // PROSPETTI CON MATERIALI
5.11 // DISTRIBUZIONE DEGLI AMBIENTI
5.12 // SCALE INTERNE
5.13 // IMPIANTI

5.1 Descrizione dell'area

Figura 1 - Perimetro della proprietà

L'edificio in oggetto è situato in località Le Coste a Cafragna, in una zona di campagna in cui sono presenti altre abitazioni e in prossimità della strada che porta a valle (Pontescodogna).
L'edificio è collocato nella zona arida e pianeggiante all'interno del perimetro viola nella fotografia. (figura 1)

Figura 2 - Sedime della proprietà

L'architetto ha rilevato l'intero appezzamento di proprietà di Gazzi (figura 2) ed è stata scelta l'area su cui avrebbe insistito l'edificio.

Figura 3 - Delimitazione area di proprietà

Il rilevamento topografico ha permesso di delimitare l'area di proprietà di Gazzi e le quote altimetriche del terreno. L'area è stata delimitata con l'uso di barre di ferro conficcate nel terreno (figura 3).

Figura 4 - Livellazione terreno

La superficie del terreno è stata livellata per consentire la realizzazione delle fondazioni.
(figura 4)

5.2 Preparazione del cantiere

Il cantiere è stato predisposto secondo il D.Lgs 81/08 e le altre norme attuali riguardo la manutenzione ordinaria programmata delle attrezzature di cantiere. Successivamente è stato installato l'ufficio di cantiere prefabbricato con annesso servizio igienico. Inoltre, sono stati noleggiati la gru e il ponteggio, è stato realizzato l'impianto elettrico di cantiere ed è stato affisso il cartello di cantiere.

Per consentire il sostegno idoneo al passaggio dei macchinari di cantiere, è stata inghiata la strada di accesso all'edificio. Nell'area antistante l'edificio è stato realizzato uno spiazzo che ha previsto lo scavo con apposito macchinario, il riempimento con materiale inerte, la posa di un telo in TNT e il successivo inghiaio.

5.3 Fondazioni

Per eseguire le fondazioni di un edificio è necessario seguire un iter atto a predisporre il sito. La prima operazione è stata eseguire uno scavo di sbancamento di 60 cm di profondità con l'uso di escavatore meccanico. Si è steso un telo in geotessuto sul fondo dello scavo. Successivamente è stato posato uno strato di vetro cellulare di spessore 20 cm compattato con la funzione di vespaio aerante e strato drenante, sul perimetro è stato posato un tubo microforato PEAD con funzione drenante. Al di sopra del vespaio aerato è stato posato un telo in PE con la funzione di separare gli strati; lo spessore del telo è di 0,2 mm. Sopra è stato realizzato un getto di calcestruzzo di pulizia in magrone. Una volta gettato e lasciato maturare il magnone è stato gettato il calcestruzzo di fondazione; per questa operazione sono stati utilizzati dei casseri in legno non a perdere, con la funzione di contenere il getto fino a completa maturazione. All'interno dei casseri sono state predisposte le armature di fondazione per le travi rovesce. Queste sono barre ad aderenza migliorata in acciaio FeB 44K (450 B). Dopo la posa delle armature metalliche, è stato gettato il calcestruzzo armato del tipo Rck 30 N/mm^2 - esposizione XC2 - consistenza S4 e con tempo di stagionatura di 28 giorni.

La prima soluzione presentata al Comune prevedeva un tipo di fondazione realizzata con gabbioni di ferro riempiti di pietre, ma ha ritenuto questa soluzione non idonea per la tipologia di terreno su cui andava edificata l'abitazione. Il Comune ha così richiesto una perizia geologica e ha imposto un tipo una fondazione a travi rovesce in calcestruzzo armato.

Ai lati delle travi rovesce è stato posizionato un isolante idrorepellente in lastre (Aquapanel Knauf) di circa 2 cm di spessore e 30 cm di altezza.

5.4 Struttura

Figura 5 - Struttura portante in legno

Figura 6 - Dettaglio del attacco al piede del pilastro

La struttura portante dell'edificio è stata realizzata in legno (figura 5). Sopra i cordoli di fondazione in calcestruzzo armato è stato posato un telo impermeabile su cui è stata posata la trave radice in legno di larice, di dimensioni 12x12 cm; ai lati di questa sono stati posati altri due travetti di dimensione 6x6 cm.
Sono presenti 12 pilastri che proseguono fino alla copertura, due di questi hanno sezione 24x24 cm in lamellare d'abete e dieci hanno un diametro di 30 cm in legno massiccio. Questi ultimi sono posati su un sostegno in acciaio annegato in un parallelepipedo in calcestruzzo di altezza 60 cm circa. Dalla pavimentazione esce una porzione dei sostegni in calcestruzzo, a cui i pilastri in legno sono connessi, di un'altezza di circa 10 cm (figura 6).

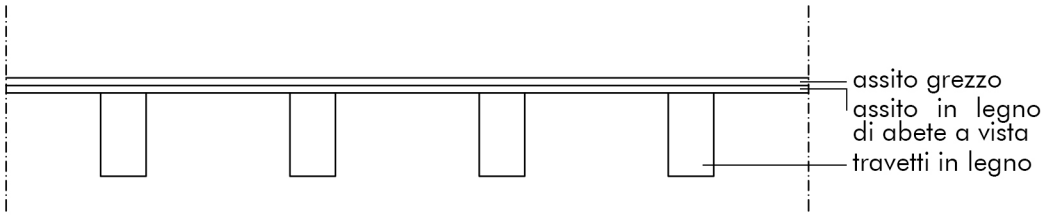
Figura 7- Struttura pilastri Steico Joist

La struttura lungo il perimetro dell'edificio è stata realizzata a telaio, con una sequenza di pilastri Steico Joist posti a un interasse di 50 cm l'uno dall'altro. Questo è composto da due materiali: l'anima è molto sottile (spessore 5 mm) ed è realizzata in STEICO Natural Fiber Boards, un materiale a base di legno; mentre le ali sono realizzate in microlamellare STEICO LVL, costituito da più strati di fogli in abete rosso e pino, di spessore 3 mm (figura 7).
Di fianco alle aperture vi sono dei pilastri in legno lamellare di dimensione 12x24 cm.
I pilastri Steico Joist sono stati posati perpendicolarmente rispetto alla trave radice (che ha la funzione di isolare il piede della parete dal calcestruzzo, oltre che permettere la corretta connessione fra parete e fondazione) e fissati ad essa mediante hold down HTA Wurth in lamiera d'acciaio con dimensione 60x440x60 mm, spessore di 3 mm (spessore della piastra di base di 9 mm).
Sulle aperture sono stati utilizzati architravi in legno, realizzate ponendo i pilastri Steico Joist secondo la lunghezza.

Figura 8 - Solaio piano primo

Figura 9 - Solaio piano primo

I solai del primo piano sono realizzati con travetti in legno massiccio di dimensione 12x22 cm, a vista, su cui è stato fissato un assito in tavole di legno di abete a vista battentato di 2 cm di spessore, sul quale, è stato collocato un assito grezzo a 45 gradi di spessore 2 cm (figura 8, 9).



Particolare costruttivo solaio studio
scala 1:20

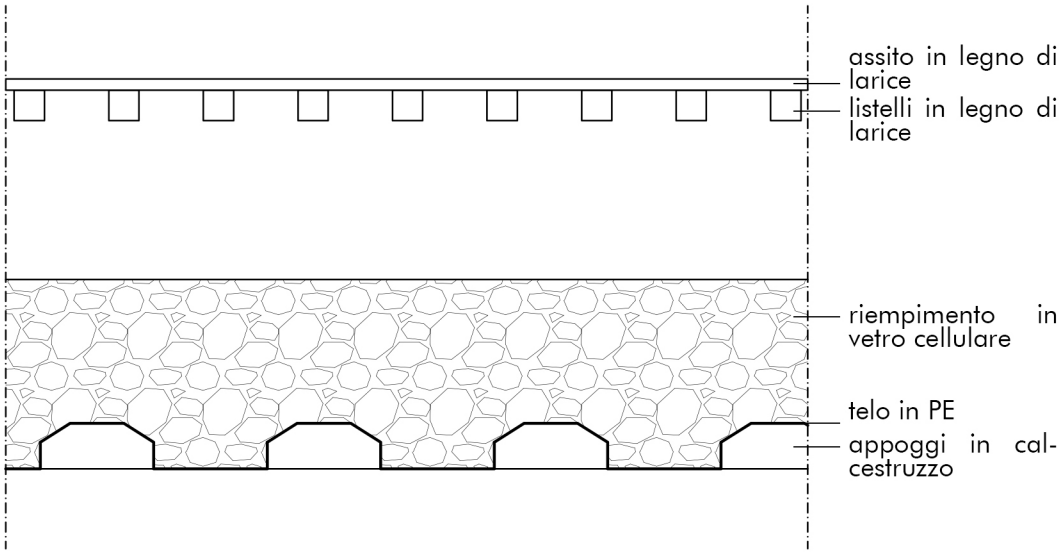
Note:
Elaborato personale.

Figura 10 - Piano di appoggio in calcestruzzo

Al piano terreno è stato posato un telo in PE ed è stata predisposta una sequenza di piani di appoggio in calcestruzzo, riempiti con vetro cellulare (figura 10).

Figura 11- Solaio rialzato dello studio al piano terreno

Il solaio dello studio situato al piano terreno è sopraelevato di circa 50 cm rispetto al piano di appoggio. Sugli appoggi in calcestruzzo sono stati disposti dei listelli in legno di larice di dimensione 8x8 cm a sostegno del pavimento in assito di larice massiccio di spessore 3 cm (figura 11).



Particolare costruttivo solaio studio
scala 1:20

Note:
Elaborato personale.

5.5 Copertura

Figura 12 - Struttuura di copertura dell'edificio

La copertura è stata realizzata con orditura in legno di abete e isolamento in paglia. La struttura principale della copertura è data dalle travi principali in legno di abete e dalle travi perimetrali. Le travi principali hanno una sezione di 24x36 cm, sia quella di colmo sia le terzere. A completare la struttura portante della copertura sono state poste le travi perimetrali, che hanno sezione che varia da 16x16 cm a 20x20 cm. (figura 12)

Figura 13 - Struttuura di copertura dell'edificio

Al di sopra di questa struttura sono stati collocati gli arcarecci: l'interasse fra ognuno di loro è di circa 65 cm e hanno sezione di 12x16 cm. A chiudere la copertura è stato posto un assito in tavole di legno grezzo battentato a vista, di spessore 2 cm; sopra quest'ultimo è stato posto il freno a vapore, opportunamente nastrato e risvoltato. Per quanto riguarda la parte di copertura eccedente le pareti perimetrali, sono stati posti i passafuori: questi hanno una sezione di 12x16 cm. (figura 13)

Figura 14 - Isolamento della copertura con balle di paglia

A collegamento dei passafuori e degli arcarecci, internamente, sono stati posti in senso longitudinale, nel lato est e nel lato ovest, delle travi di sezione 12x20 cm. Al di sopra degli arcarecci e del tavolato in legno, sono stati posti dei distanziatori in legno di sezione 4x36 cm, con una distanza fra loro di circa 90 cm; la funzione di questi è contenere le balle di paglia compattate che fungono da isolante di altezza 36 cm. A sigillare lo strato isolante in paglia sono stati posizionati un tavolato in legno grezzo di spessore 2 cm e un telo impermeabilizzante traspirante opportunamente nastrato. Al di sopra di questo telo sono stati posti dei listelli di ventilazione in legno con sezione 4x4 cm; i listelli reggi coppi di spessore 3 cm e infine i coppi in cotto. (figura 14)

5.6 Pavimentazioni esterne e davanzali

Figura 15 - Realizzazione pavimentazione esterna

La pavimentazione esterna in legno poggia su una cordolatura in blocchi di cemento, al cui interno è stato posato del vetro cellulare e sabbia come riempimento e su cui sono stati posizionati dei listelli in legno fissati ai cordoli, con funzione di separazione fra i cordoli in calcestruzzo e la pavimantazione in legno, così da garantire una maggiore durabilità. (figura 15)

Figura 16- Pavimentazione bagno piano primo

I pavimenti interni sono in legno massiccio di larice e in pietra. La pietra grigia che è stata utilizzata è di una cava limitrofa ed è stata posata sia nel bagno al piano superiore, sia in cucina sotto alla zona lavabo e cottura. (figura 16)

Figura 17 - Pavimentazione piano terreno

Il pavimento della zona soggiorno-cucina è in larice, così come gli altri ambienti della casa, ad esclusione dei bagni (figura 17).

Figura 18 - Rivestimento bagno piano terreno

Per la zona garage è stato lasciato il cemento lisciato a vista, mentre nel bagno attiguo sono state posate delle piastrelle in ceramica bianche sia per il paviemnto che per il rivestimento delle pareti (figura 18).

Figura 19 - Posa del davanzale esterno

Figura 20 - Davanzale esterno

I davanzali sono realizzati in pietra, la medesima utilizzata per i pavimenti e i rivestimenti delle pareti. Sul lato più lungo è stato intagliato un gocciolatoio. (figura 19 e 20)

5.7 Pareti esterne e interne

Figura 21 - Macchinario per la preparazione della barbottina

Le pareti perimetrali sono state tamponate con un impasto di terra e di paglia. Le percentuali variano rispetto all'esposizione della parete e alle prove svolte in cantiere per la compattezza dell'impasto. Bisogna precisare che in primis viene prodotta la barbottina, e successivamente viene aggiunta la paglia; la consistenza desiderata si ottiene facendo continue prove in cantiere, producendo provini e testando la compattezza dell'impasto. Questo approccio è tipico di questa tecnologia costruttiva che rende obbligatorio il lavoro di ricerca dell' "impasto perfetto" in cantiere, questo perché non esiste una paglia standard ma essa contiene percentuali di umidità differenti in ogni stelo, e la terra, a sua volta, ha un rapporto di coesione con le particelle d'acqua sempre differente.
La scelta progettuale dell'architetto è stata garantire alla parete esposta a sud una maggiore inerzia termica, quindi si è utilizzata una maggior quantità di terra: il peso della miscela è pari a 560 kg/m^3, mentre nella parete nord si sono utilizzate balle di paglia pressata, della dimensione di 40x40x100 cm circa.
Le pareti est e ovest sono state realizzate con il quantitativo di terra e paglia ordinario per questa tecnologia costruttiva: in questo caso particolare l'Arch. Ferraresi si è affidata ai quantitativi forniti dal libro di Marcom Alain (Marcom Alain. Construire en terre-paille, Mens, Francia, Terre vivante, 2011, p. 129-131) , ed ha un peso di 280 kg/m^3.

Figura 22 - Compattamento della miscela all'interno dei casseri

Il processo di realizzazione delle pareti è iniziato quando la struttura in legno a telaio è stata completata. Dopo aver avuto l'approvazione del geologo che la terra era idonea ad essere utilizzata, e dopo le prime prove di miscela, è iniziato il lavoro di formulazione della corretta miscela.
Dopo aver realizzato la barbottina mescolando acqua e terra, si è cominciato ad aggiungere la paglia, fino a quando non si raggiunge la consistenza desiderata. In questo caso, per la paglia della miscela sono state utilizzate delle rotoballe (fornite da un contadino).
Dopo aver posizionato i casseri in legno ai lati dei cordoli, si è inserita la miscela di terra e paglia tra un pilastro Steico Joist e un altro; questa operazione è stata eseguita lungo tutta la parete e la miscela è stata pressata adeguatamente; al termine della prima fascia, si sono spostati i casseri in alto e si è proseguito alla medesima maniera fino a completare la parete per tutta la sua altezza, senza attendere che lo strato sottostante si asciugasse

Figura 23 - Compattamento della miscela all'interno dei casseri

Per pressare la miscela di terra paglia all'interno dei casseri si sono utilizzati dei mattoni oppure è stata pressata con i piedi. (figura 23 e 22)

Figura 24 - Supporti in legno per pensili

Per quanto concerne i pensili della cucina, questi sono stati fissati tramite viti a supporti in legno posti nella parete, prima di stendere l'intonaco (figura 24); questo permette un ancoraggio sicuro del mobilio, ma impedisce successivi spostamenti dello stesso, per cui è necessario, a priori, uno studio accurato di dove lo si vuole posizionare.

Figura 25 - Realizzaizone pareti interne divisorie

Le pareti interne sono realizzate con telaio in legno e pannelli in Canapalithos grezzo con spessore 1,5 cm (figura 25). L'intercapedine data dai due pannelli è stata costipata con paglia sfusa. Le pareti hanno uno spessore ultimo di 12,5 cm.

5.8 Intonaci

Figura 26 - Realizzazione intonaco interno

Le pareti perimetrali, una volta asciutte, sono state intonacate sia internamente che esternamente. La miscela è di sola terra e acqua (barbottina) che viene stesa a mano e rifinita con l'uso di una spatola.
Sulle spallette delle aperture è stato posto del cannicciato per fornire la presa dell'intonaco. (figura 26)

Figura 27 - Dettaglio della rete porta intonaco

È stata posta una rete porta intonaco di fibre naturali sia per l'interno (figura 27) che per l'esterno.
L'intonaco esterno ha spessore di 2 cm, invece l'intonaco interno ha uno spessore di 4 cm. In entrambi i casi l'intonaco ha una finitura abbastanza ruvida e gli angoli sono stondati; quest'ultima era una richiesta specifica del proprietario, che desiderava un'abitazione "poco precisa" e dall'aspetto naturale.

5.9 Serramenti

Figura 28 - Posa serramento

I serramenti hanno telaio in legno di larice lamellare a 3 strati, con doppio vetro con gas argon nell'intercapedine.
È stato fissato lungo tutto il perimetro dell'apertura il falso telaio in legno di abete e, dove le aperture sono ad arco a sesto ribassato, è stato inserito del sughero in più strati opportunamente sagomati e fissati tra di loro con tasselli da isolante (figura 28).

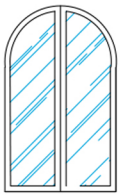
Figura 29 - Serramento e scuri in legno

Sono stati posati gli infissi, fissandoli con delle viti al falso telaio in legno. Il procedimento è il medesimo sia per le finestre che per le porte a battente.
Alcuni dei serramenti sono dotati di scuri esterni in legno (figura 29).

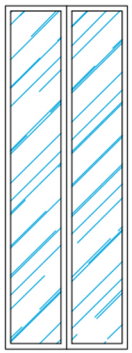
Note:
Le fotografie sono di proprietà di Maddalena Ferraresi.

Abaco serramenti e scuri esterni

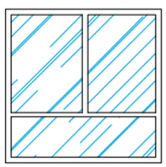
Serramento con telaio in legno di larice lamellare a 3 strati e doppio vetro. Non apribile.



Serramento con telaio in legno di larice lamellare
a 3 strati e doppio vetro.
Finestra a due ante.
Dimensione 1220x1360 mm.

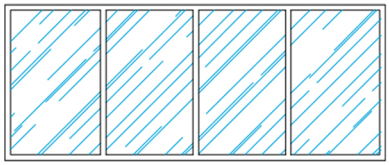


Serramento con telaio in legno di larice lamellare
a 3 strati e doppio vetro.
Porta finestra a due ante.
Dimensione 1220x2860 mm.



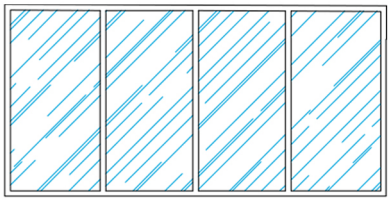
Serramento con telaio in legno di larice lamellare
a 3 strati e doppio vetro.
Finestra a due ante con pannello vetrato fisso.
Dimensione 1590x1660 mm.

Note:
Elaborato personale.



Serramento con telaio in legno di larice lamellare a 3 strati e doppio vetro.

Finestra a due ante con 2 pannelli vetrati laterali fissi.
Dimensione 3420x1660 mm



Serramento con telaio in legno di larice lamellare a 3 strati e doppio vetro.

Finestra a due ante con 2 pannelli vetrati laterali fissi.
Dimensione 3520x1660 mm

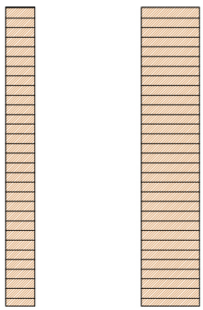
Porta in legno di larice lamellare.

Dimensione 1200x2400 mm

Note:
Elaborato personale.

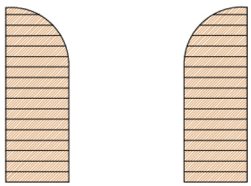
Porta in legno di larice lamellare a due ante.

Dimensione 1010x2500 mm



Scuri in legno di larice lamellare per porta finestra.

Dimensione 1220x2860 mm

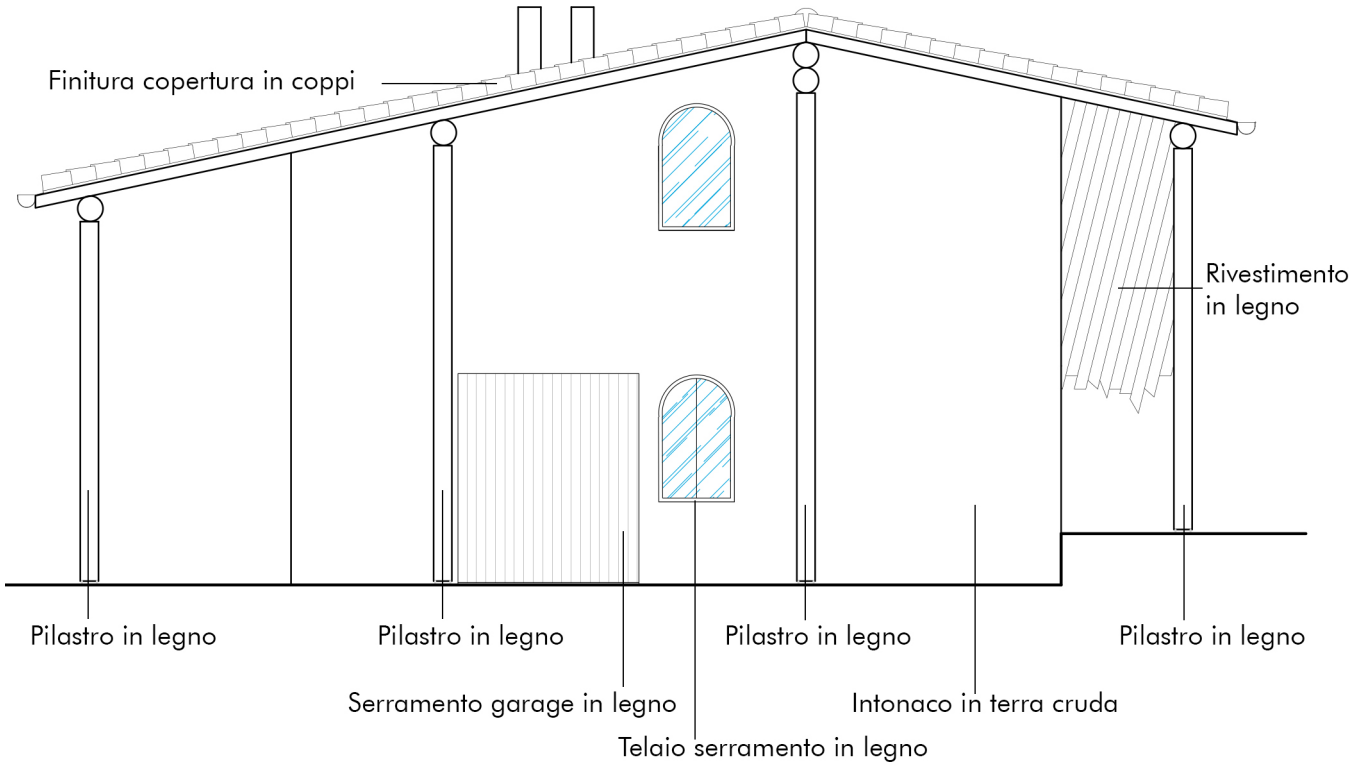


Scuri in legno di larice lamellare per finestra.

Dimensione 1220x1360 mm

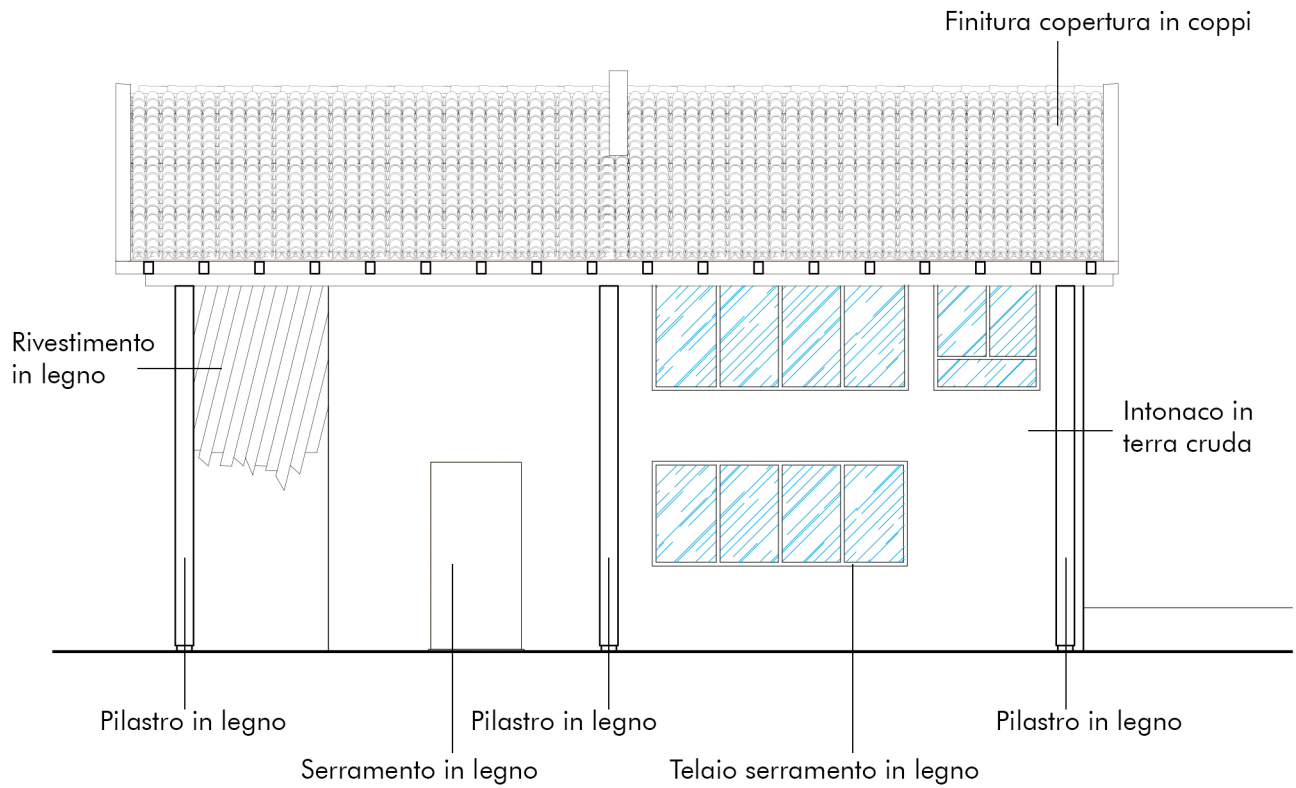
Note:
Elaborato personale.

5.10 Prospetti con materiali



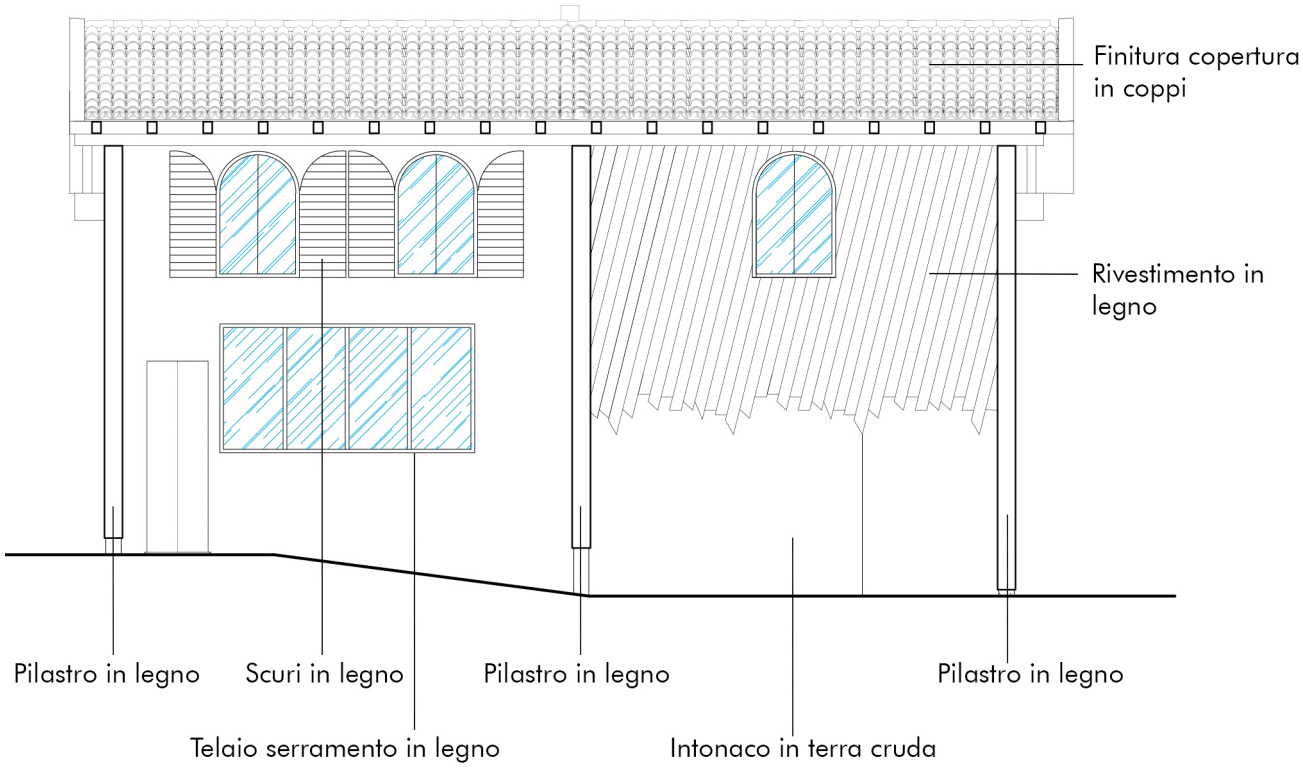
Prospetto nord
scala 1:100

Note:
Gli elaborati grafici sono una rielaborazione personale del materiale grafico fornito dall'Arch. Ferraresi.



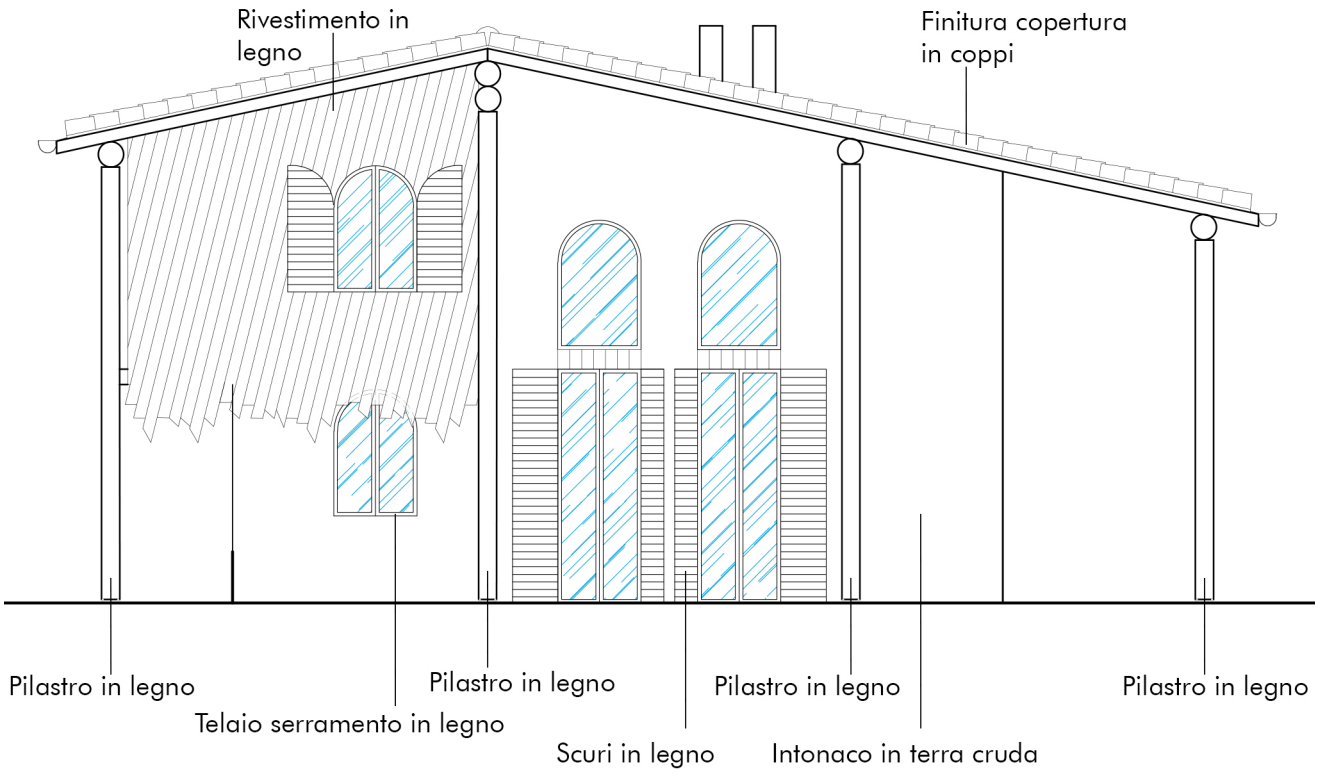
Prospetto est
scala 1:100

Note:
Gli elaborati grafici sono una rielaborazione personale del materiale grafico fornito dall'Arch. Ferraresi.



Prospetto ovest
scala 1:100

Note:
Gli elaborati grafici sono una rielaborazione personale del materiale grafico fornito dall'Arch. Ferraresi.



Prospetto sud
scala 1:100

Note:
Gli elaborati grafici sono una rielaborazione personale del materiale grafico fornito dall'Arch. Ferraresi.

5.11 Distribuzione degli ambienti

Figura 30

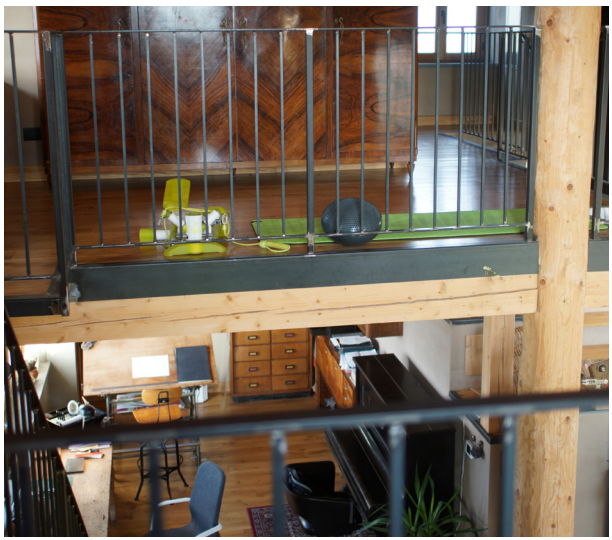
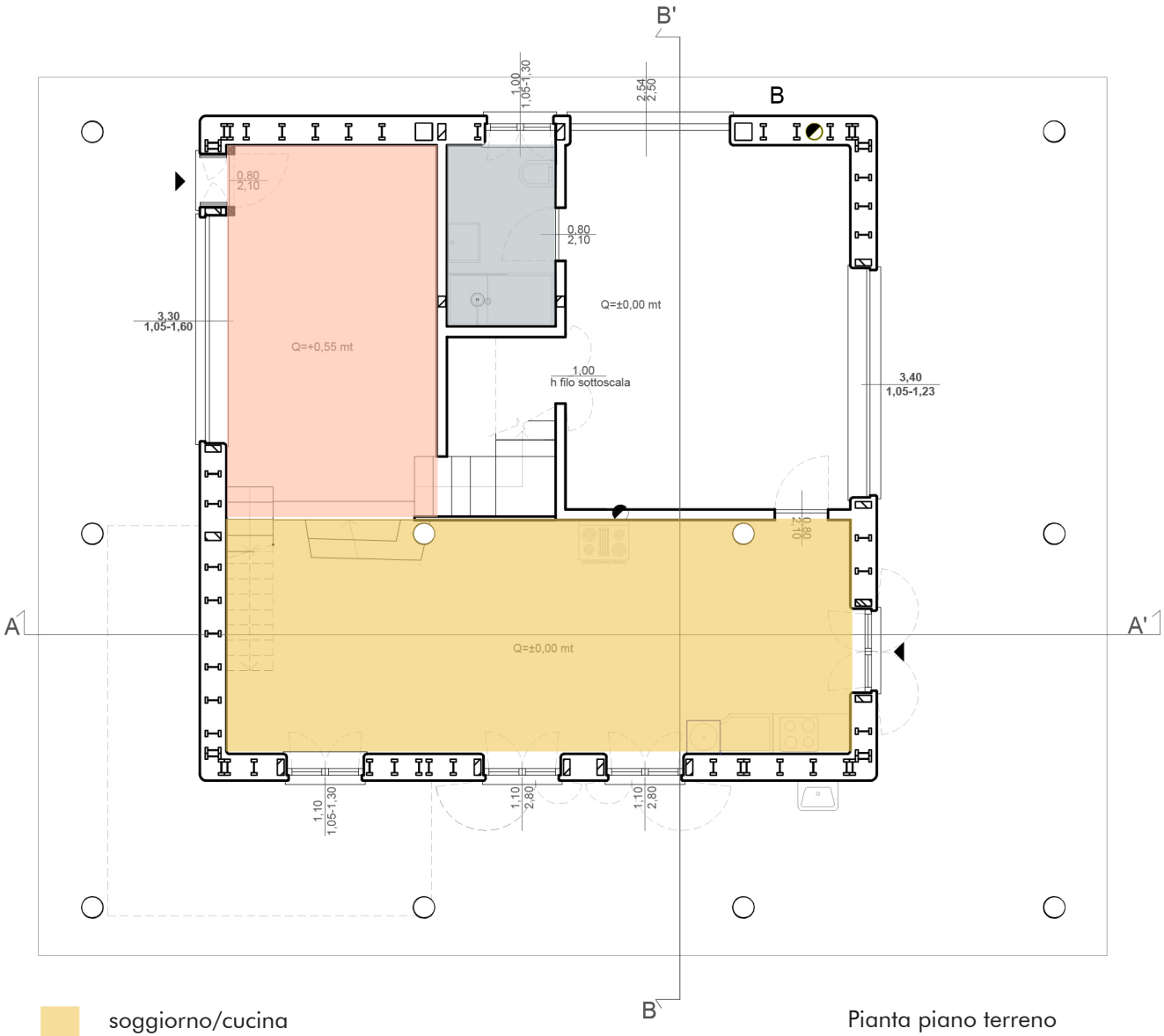


Figura 31

Al piano terreno si trovano la zona soggiorno-cucina, lo studio, la zona lavanderia e il garage, mentre al piano superiore si trovano due camere da letto, un bagno e due soppalchi aperti con funzione studio e sala da lettura. (figura 30 e 31)
La zona soggiorno-cucina ha una dimensione di circa 32 m^2, lo studio 16,45 m^2, la lavanderia, 4,40 m^2 e il garage 23,20 m^2. Al piano superiore le camere da letto hanno dimensione di 16 m^2 e 9 m^2; il bagno 6,7 m^2 e la zona soppalchi 25 m^2.

Note:
Le fotografie sono di proprietà di Maddalena Ferraresi.



soggiorno/cucina

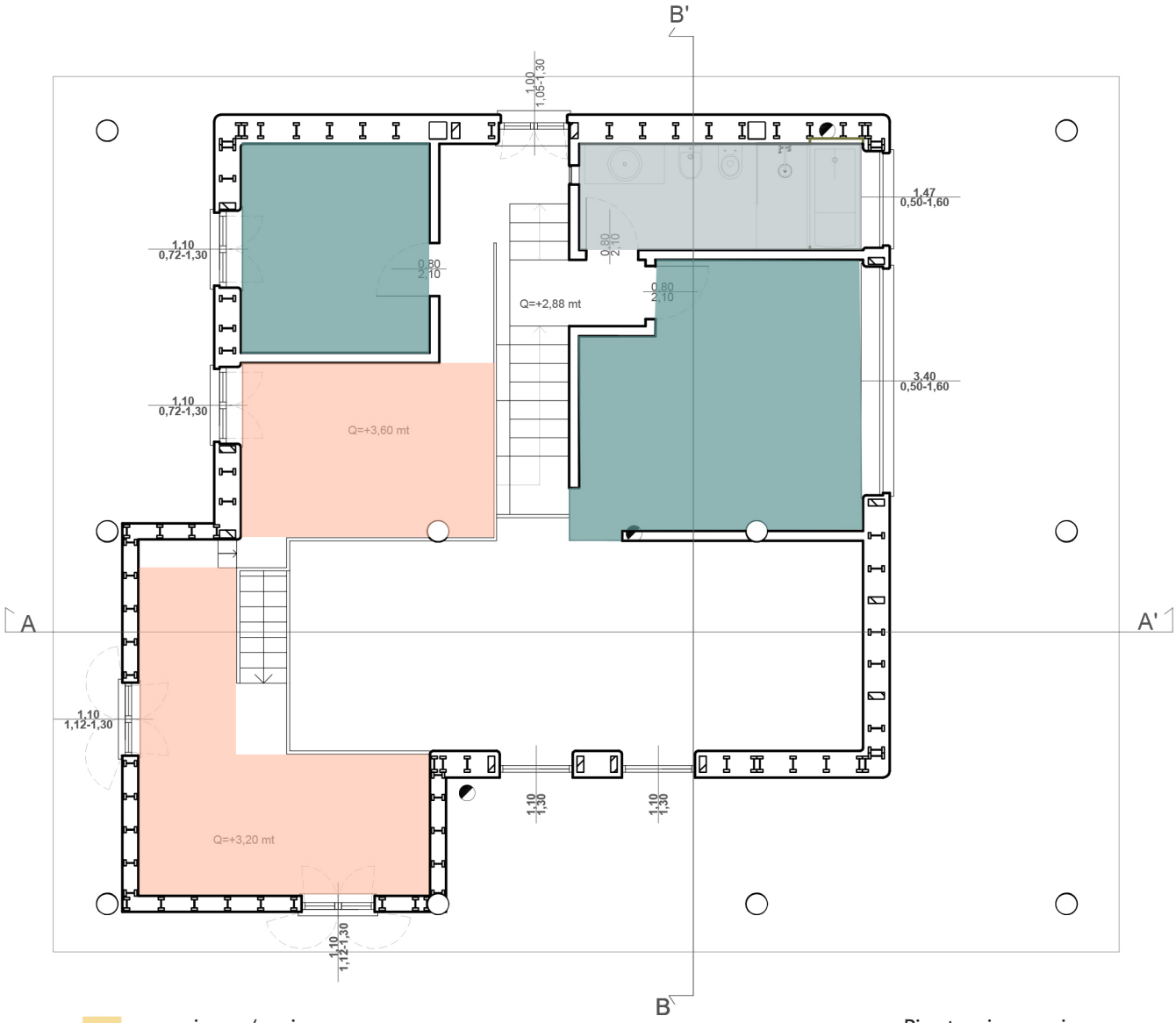
studio

bagno

camera da letto

Pianta piano terreno
scala 1:100

Note:
Gli elaborati grafici sono una rielaborazione personale del materiale grafico fornito dall'Arch. Ferraresi.



soggiorno/cucina

studio

bagno

camera da letto

Pianta piano primo
scala 1:100

Note:
Gli elaborati grafici sono una rielaborazione personale del materiale grafico fornito dall'Arch. Ferraresi.

5.12 Scale interne

Figura 32 - Scale interne

Figura 33 - Scale interne

Le scale che collegano i vari soppalchi invece, hanno struttura in ferro, pedate in legno e parapetto in ferro. Queste hanno una larghezza di 65 cm e sono state richieste dal proprietario per dare un senso di libertà nel muoversi all'interno dell'abitazione. Infatti, è possibile arrivare al piano primo sia utilizzando la scala principale, sia la scala che collega il soppalco al piano terreno (figura 32 e 33).

5.13 Impianti

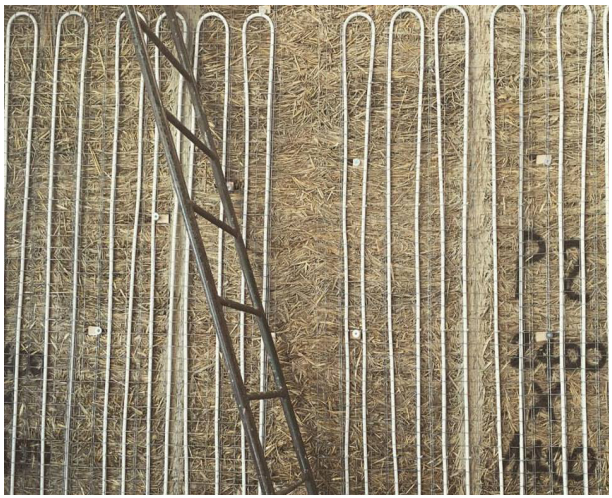


Figura 34 - Impianto radiante a parete

Figura 35 - Impianto fotovoltaico

L'abitazione è dotata di piastre a induzione e di una "cucina economica". Quest'ultima è una stufa a legna con un recuperatore di calore ad acqua che va ad integrare la pompa di calore. L'edificio non è provvisto di un impianto di climatizzazione estiva, ma solamente quello invernale e di acqua calda sanitaria. Per fare ciò è stata installata una pompa di calore aria-acqua. La pompa di calore è alimentata dalla rete elettrica, con il supporto dell'energia fornita dall'impianto fotovoltaico. In associazione alla pompa di calore, i terminali scelti per l'impianto di riscaldamento sono i pannelli radianti a parete (figura 34) e a pavimento.

I pannelli fotovoltaici presenti sulla copertura dell'edificio, nella falda a est, ricoprono una superficie di circa 20 m^2 (figura 35).
Dalla certificazione APE si possono apprendere alcuni dati relativi all'impianto, fra i quali la potenza nominale della pompa di calore, che è di 7,78 kW. La pompa di calore è utilizzata per la climatizzazione e l'acqua calda sanitaria. L'impianto fotovoltaico collabora alla fornitura di energia elettrica, oltre a quella prelevata dalla rete, con una potenza nominale di 3 kW.
L'indice di prestazione energetica non rinnovabile (EPgl, nren) è pari a 95,30 kWh/m^2 anno e quello rinnovabile (EPgl, ren) è pari a 105,40 kWh/m^2 anno. Le emissioni di CO_2 sono pari a 21,17 kg/m^2 anno.

Figura 36 - Realizzazione impianto fognario

Figura 37 - Realizzazione impianto fognario

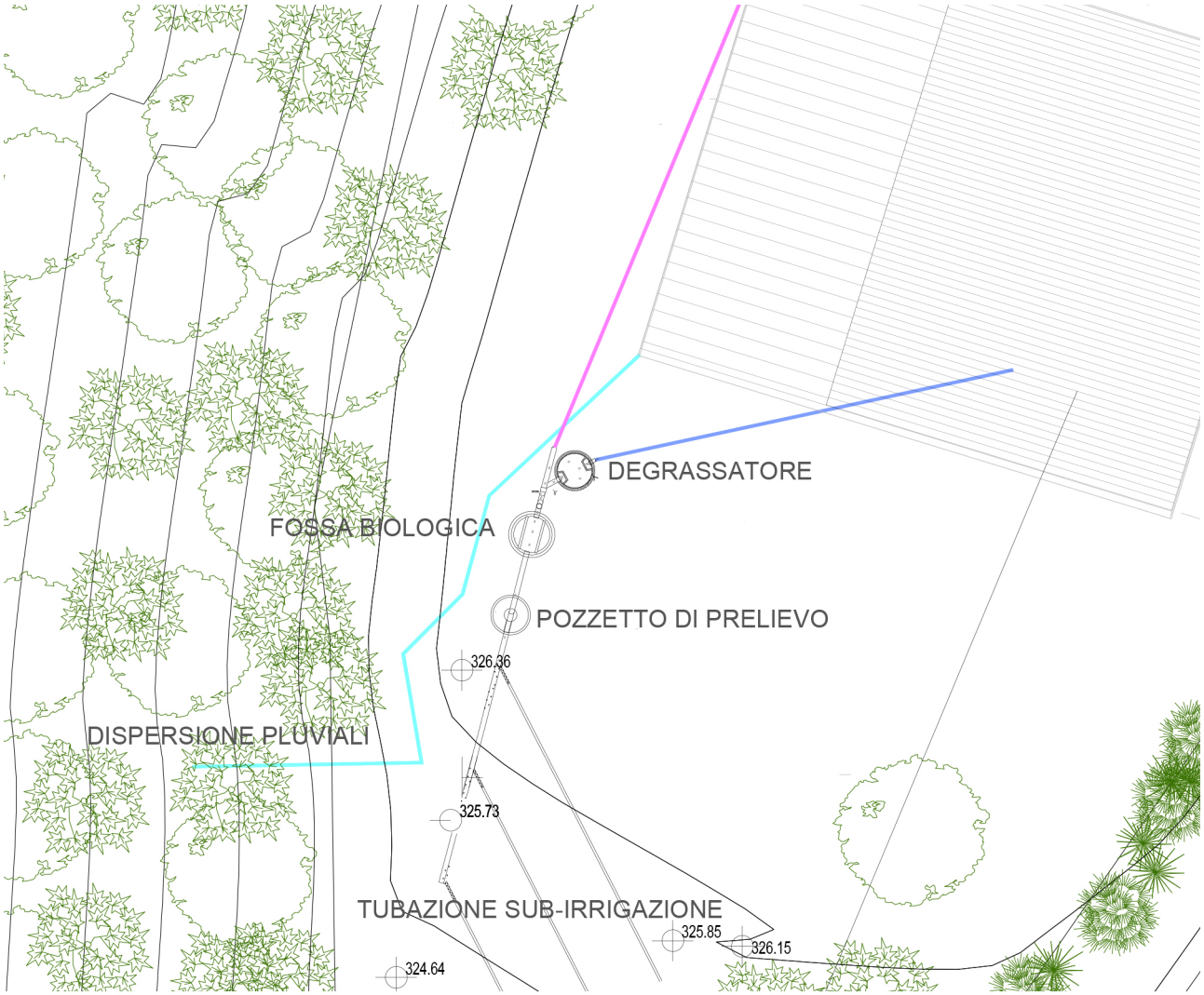
Sono state realizzate opere relative allo smaltimento delle acque nere, delle acque grigie e delle acque meteoriche. Ognuna di queste acque di scarico ha necessità di avere un sistema di smaltimento specifico: di seguito è stata descritta la successione di vasche di depurazione necessarie per il loro adeguato smaltimento.

È stato effettuato uno scavo abbastanza ristretto, della dimensione necessaria per le tubazioni; sul fondo del terreno sono stati posati un letto di sabbia e i tubi. Sono state posate alcune vasche: la vasca condensagrassi (degrassatore) che è collegata alle acque grigie (è necessaria a filtrare e far depositare i grassi presenti nelle acque grigie di scarico, le quali provengono da lavabi, bidet, doccie e vasche da bagno); in successione è stata posta la fossa biologica (vasca Imhoff) che è collegata alle acque nere, e ha la funzione di far digerire la parte solida delle acque nere, nella parte inferiore della vasca, mentre nella parte superiore avviene la chiarificazione dei rifiuti liquidi, i quali saranno smaltiti successivamente in un impianto ramificato di sub irrigazione. Da ultimo è stato posato un pozzetto di prelievo in cemento per ispezione della rete fognaria. Inoltre sono stati posti chiusini in cemento con funzione di pozzetti di scarico delle acque piovane.

Ultimo step è stato quello di ricoprire con del calcestruzzo i tubi, con rinfianco e reinterro (figura 36, 37).

Nella planimetria di seguito è presente la restituzione grafica del progetto dell'impianto fognario.
Le acque piovane vengono allontanate dall'abitazione e smaltite nel terreno.
Le acque nere depurate vengono allontanate e disperse con l'impianto di sub irrigazione.
Le acque grigie, prima di confluire nella fossa biologica, vengono indirizzate nel degrassatore.

Note:
Le fotografie sono di proprietà di Maddalena Ferraresi.



DEGRASSATORE

FOSSA BIOLOGICA

POZZETTO DI PRELIEVO

TUBAZIONE SUB-IRRIGAZIONE

DISPERSIONE PLUVIALI

IMPIANTO ACQUE NERE

IMPIANTO ACQUE GRIGE

Planimetria impianto fognario
scala 1:200

Note:
Gli elaborati grafici presenti nella tesi sono una rielaborazione personale del materiale grafico fornito dall'Arch. Ferraresi.

6// LCA

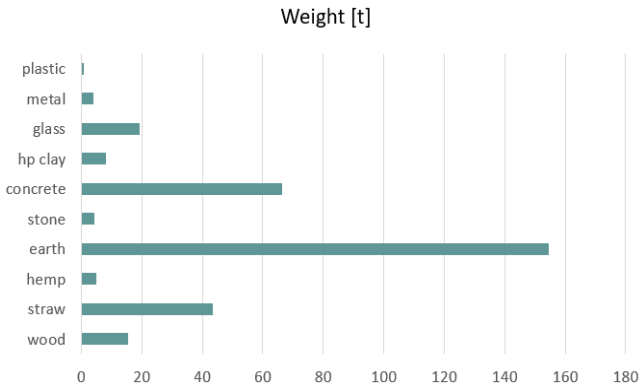
6.1 // BANCA DATI E CRITERI DI SELEZIONE DEI VALORI
6.2 // CALCOLI RELATIVI ALLA QUANTITA' DEI MATERIALI
6.3 // CALCOLI VALORI PEI E GWP TRAMITE ÖKOBAUDAT
6.4 // GWP
6.5 // CONFRONTO CON I CASI STUDIO
6.6 // ALTERNATIVA CON FONDAZIONI IN GABBIONI DI ACCIAIO
E RIEMPIMENTO CON SASSI
6.7 // CONCLUSIONI

6.1 Banca dati e criteri di selezione dei valori

Al fine di conoscere l'impatto ambientale dell'edificio è stato necessario stilare un inventario dettagliato dei materiali utilizzati e associare ognuno di questi ai valori di *embodied energy* ed *embodied carbon*. Tali valori sono stati reperiti presso la banca dati tedesca ÖKOBAUDAT, messa a disposizione dal Ministero Federale degli Interni e dell'Edilizia e di libero accesso. Per stilare l'inventario si è utilizzato il computo metrico e, dove non erano indicate le quantità dei materiali, si sono utilizzati gli elaborati grafici esecutivi di progetto. Alcuni materiali sono stati accorpati in un'unica voce: il vetro, ad esempio, comprende il vetro dei serramenti ed il vetro cellulare posto a riempimento nelle fondazioni. Il legno comprende differenti materiali: i pilastri portanti sono realizzati in legno massello d'abete, il telaio dell'edificio è realizzato con pilastri Steico Joist, le tavole e i travetti dei solai e della copertura sono realizzati in legno di abete, mentre i pilastri posti in corrispondenza delle aperture sono realizzati in legno lamellare. La voce 'pietra' comprende la pietra naturale utilizzata per i pavimenti di cucina e bagno e per i davanzali. Per ottenere i valori di terra e paglia è stato necessario calcolare la percentuale di entrambi i materiali presenti nella miscela e, di conseguenza, si è calcolato il peso di ognuno di essi.

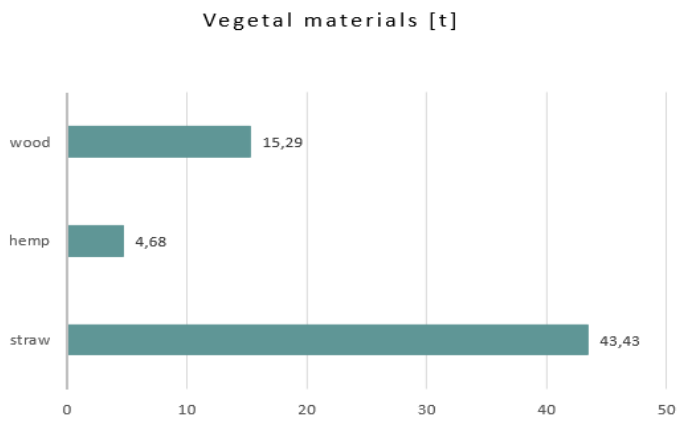
Nel caso in cui non fosse disponibile il materiale e la relativa lavorazione che ha subito all'interno della banca dati, si è utilizzato un valore di riferimento preso dalle schede tecniche dei produttori (es. percentuale di viti utilizzati per le giunzioni in legno pari all'1% sul totale dei kg di legno).
Nonostante l'assenza di alcuni materiali, l'utilizzo delle banche dati permette di confrontare i dati fra di loro e diversi casi studio che utilizzano la medesima banca dati.
Il calcolo dell'energia grigia e di emissioni di CO_2eq ha riguardato le fasi di produzione del materiale, identificate come A1, A2, A3. La fase A1 identifica l'approvvigionamento delle materie prime, la fase A2 il trasporto al sito di manifattura e la fase A3 la manifattura vera e propria. Sono state quindi escluse le computazioni riguardanti la fase di cantiere (A4) (trasporto del materiale in cantiere e l'impatto della posa in opera e la costruzione dell'edificio (A5)), oltre che gli impatti del consumo di energia termica ed elettrica durante la sua vita utile, data la difficoltà nel reperire i dati necessari e nella loro quantificazione.

6.2 Calcoli relativi alle quantità dei materiali

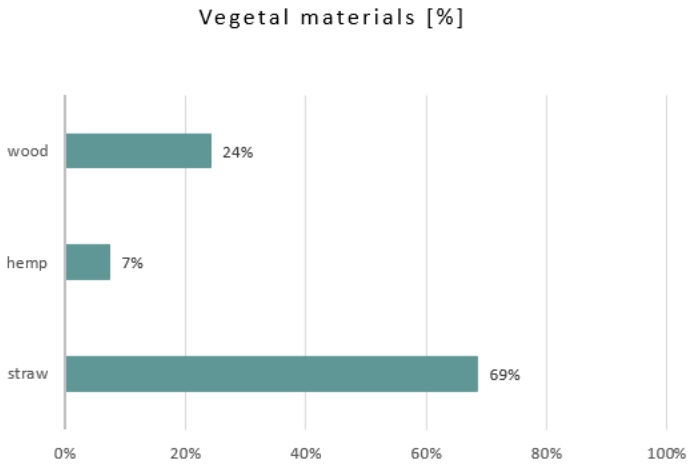


Tab. 1 - Peso dei materiali

L'edificio presenta una superficie calpestabile complessiva di 159 m^2 e un peso complessivo di 314,7 tonnellate, circa 2 tonnellate al m^2.
Il 48% del peso totale è rappresentato dalla terra cruda, presente nelle pareti dell'edificio, nell'intonaco e come isolante sfuso nei solai, mentre il 21% è costituito dal calcestruzzo delle fondazioni a travi rovesce. Il 15%, invece, è costituito da materiale vegetale: la paglia presente nelle pareti sotto forma di balle e sfusa nell'intonaco e come isolante nei solai. Il 5% è rappresentato dal legno strutturale e il 6% dal vetro cellulare utilizzato come materiale di riempimento e di isolamento fra le travi di fondazione. Il vetro cellulare è molto leggero, per cui il suo volume è decisamente maggiore rispetto a quello del legno, pur non essendoci molta differenza in peso: il primo ha un peso di 15 tonnellate e un volume di 23,73 m^3, mentre il secondo ha un peso di 19 tonnellate e un volume di 73,80 m^3. La stessa cosa si può dire della paglia e della terra: il peso della terra è di 154,4 tonnellate e il suo volume 77,22 m^3, mentre la paglia ha un peso di 43,4 tonnellate e un volume di 434,31 m^3.

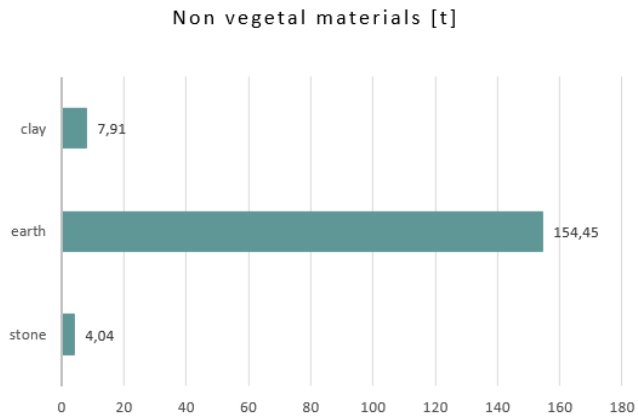


Tab. 2 - Peso dei materiali vegetali

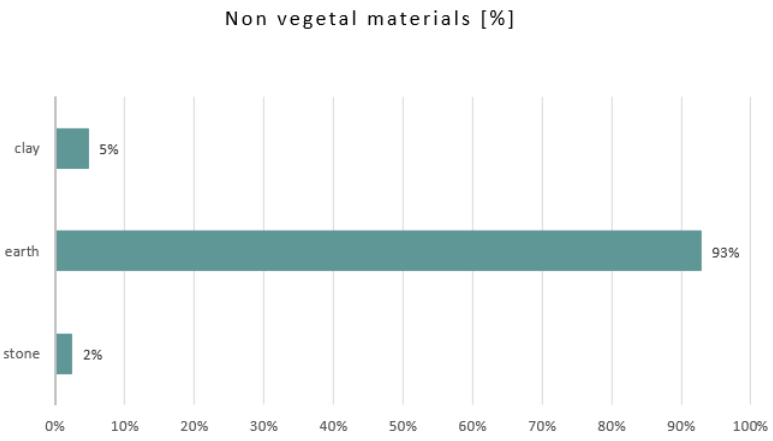


Tab. 3- Percentuale dei materiali vegetali

La somma dei materiali naturali costituisce il 52% del totale. Fra questi possiamo distinguere i materiali vegetali, quali il legno, la canapa e la paglia. Il legno è presente sulla totalità dei materiali vegetali per il 24% con un peso di 15 tonnellate, la canapa per il 7% con un peso di 4,7 tonnellate e la paglia per il 69% con un peso di 15,2 tonnellate.



Tab. 4- Peso dei materiali naturali non vegetali



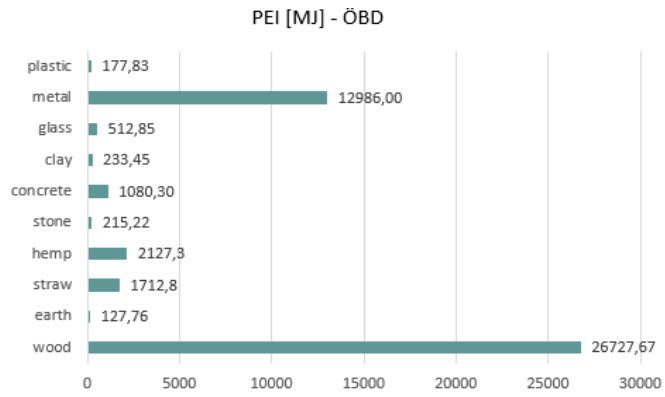
Tab. 5 - Percentuali dei materiali naturali non vegetali

Gli altri materiali di origine naturale non vegetale sono la terra, che rappresenta il 93% del totale (dei materiali non vegetali) e un peso di 154,45 tonnellate, la pietra presente per il 2% con un peso di 4,04 tonnellate e HP clay per il 5% con un peso di 7,91 tonnellate.

Materiale	Peso [t]	PEI [MJ]	GWP [$kgCO_2eq$]
Legno	15,29	26727,67	-1298,65
Paglia	43,40	1712,80	-127
Canapa	4,68	2127,30	24,16
Terra	154,44	127,76	9,69
Pietra	4,04	215,22	12,84
Cotto	7,90	233,45	12,33
Calcestruzzo	66,36	1080,30	234,40
Vetro	19,14	512,85	37,76
Acciaio	3,84	12986	1125
Plastica	0,75	177,83	8,15

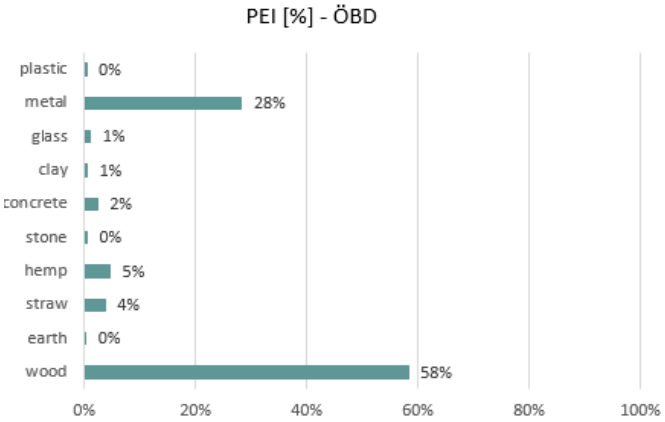
Tab. 6 - Tabella con peso, PEI e GWP dei materiali

6.3 Calcoli valori PEI e GWP tramite ÖKOBAUDAT



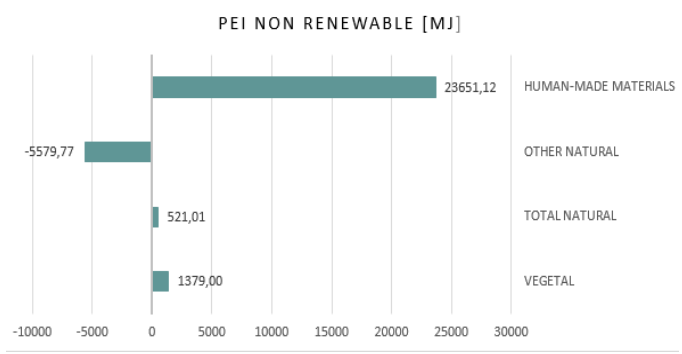
Tab. 7 - Valori PEI dei materiali

Con l'utilizzo della banca dati Ökobaudat, per ottenere il valore PEI (P*rimary Energy Intensity* o EE-*Embodied Energy*), di un materiale è necessario sommare i valori PERT (*Total use of renewable primary energy resources*) e PERNT (*Total use of non-renewable primary energy resources*) inerenti alle fasi A1, A2, A3.
Ogni materiale utilizzato nell'edificio ha trovato corrispondenza nella banca dati Ökobaudat, ad esclusione delle connessioni metalliche utilizzate nella struttura lignea dell'edificio, per il quale si è utilizzata una percentuale convenzionale dell'1% rispetto al peso totale del legno.



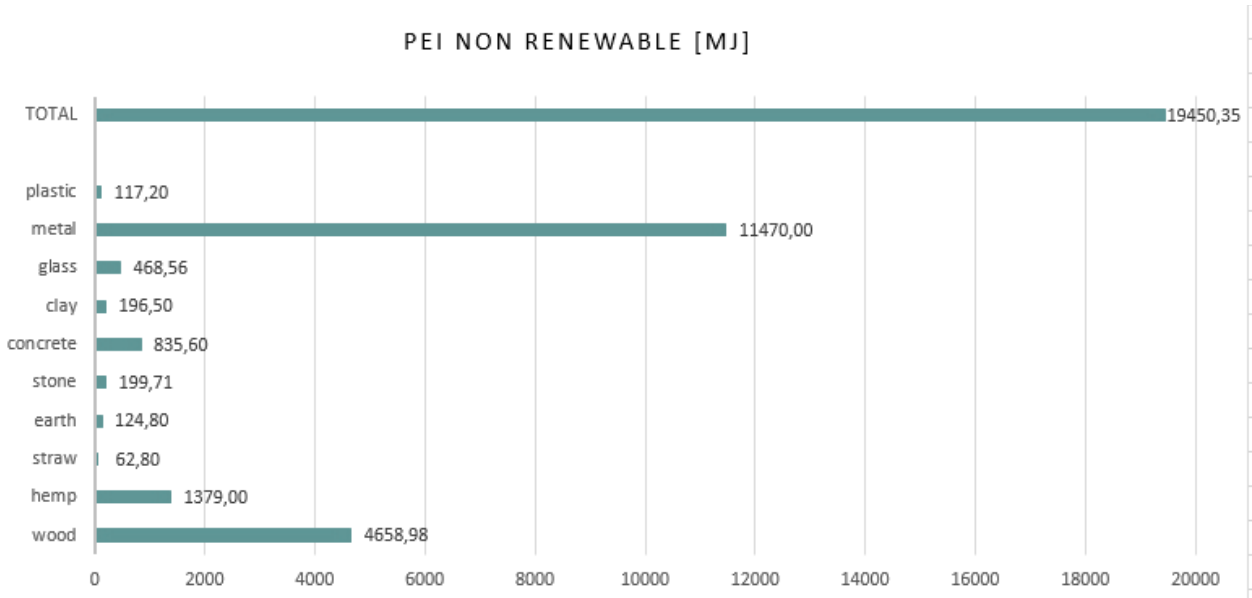
Tab. 8 Valori PEI dei materiali in percentuale

Il valore totale dell'indicatore PEI è pari a 45901,17 MJ, quindi 288,69 MJ/m^2.
I materiali che hanno inciso maggiormente sono il legno e il metallo, rispettivamente con 26727,67 MJ (58%) e con 12986 MJ (28%). Gli altri valori sono: la canapa con 2127,3 MJ, la paglia con 1712,8 MJ, il calcestruzzo con 1080,30 MJ, il vetro con 512,85 MJ, il cotto con 233,45 MJ, la pietra con 215,22 MJ, la plastica con 177,83 MJ, la terra con 217,76 MJ.



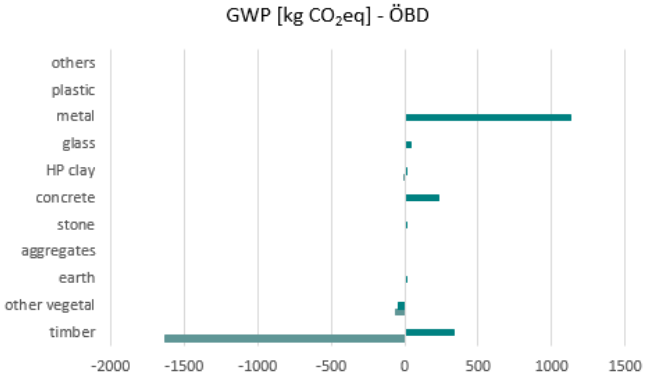
Tab. 9 - Valori PEI non renewable dei materiali

Bisogna considerare che il valore di PEI osservato sopra tiene in considerazione anche la quota non rinnovabile (PERNT); quest'ultima è data prevalentemente dalle materie '*human made*' con 23697,66 MJ. I valori di PEI non rinnovabili più elevati sono dati dal legno e dal metallo, rispettivamente con 10280 MJ e 11470 MJ.



Tab. 10 - Valori PEI non renewable dei materiali

6.4 GWP



Tab. 11 - Valori GWP dei materiali

Il valore GWP (*Global Warming Potential*) indica il potenziale di riscaldamento globale ed è espresso in kg di CO_2eq. I materiali vegetali, poiché durante la loro vita assorbono CO_2 grazie alla fotosintesi, restituiscono valori negativi, ma solo se le lavorazioni successive non annullano tale stoccaggio. In questo caso specifico il legno ha un valore di GWP di -1298,65 kgCO_2eq. Nell'ultimo anno Ökobaudat ha implementato la banca dati relativamente ai valori di GWP *Biogenic*, i quali rappresentano la quota parte di GWP negativa, poiché la CO_2 invece di essere immessa in ambiente è immagazzinata nel materiale vegetale. Il valore GWP maggiore è quello rappresentato dal metallo con 1125 kgCO_2eq e, a seguire, dal calcestruzzo con 234,40 kgCO_2eq.

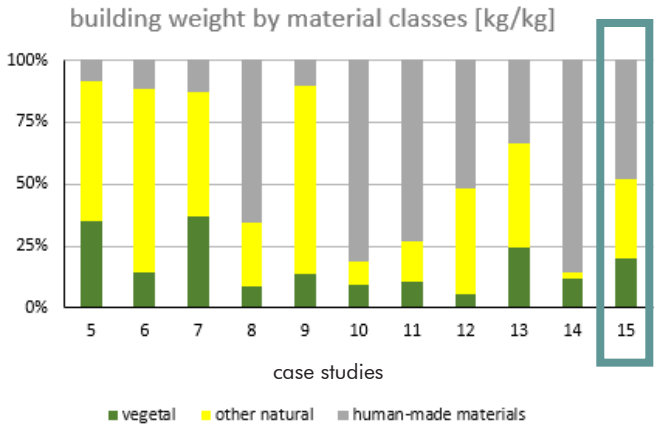
Il GWP totale è 38,68 kgCO_2eq con una quota di GWP Biogenic di -1691,11 kgCO_2eq.

6.5 Confronto con i casi studio

L'obiettivo finale dell'elaborazione di questi dati è il confronto con altri casi studio di abitazioni in bioedilizia. I casi a cui paragonarsi sono quelli presenti nel libro *Vegetarian Architecture* di Andrea Bocco (vedere bibliografia). Per ognuno di essi sono raggruppati i materiali utilizzati secondo tre categorie: vegetali, naturali ma non vegetali, artificiali.

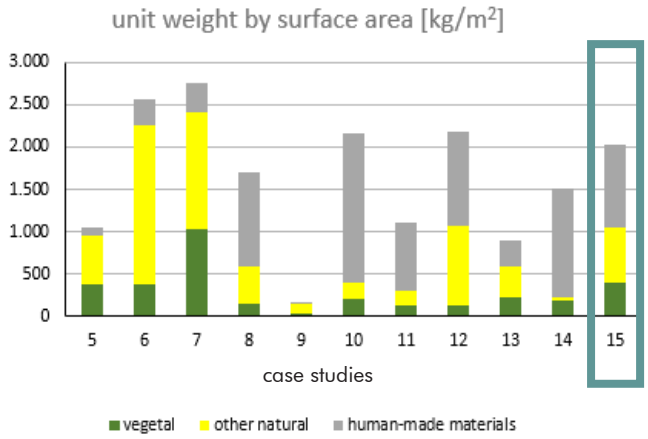
caso studio		area	peso		EE (ÖBD)			GWP (ÖBD)		
n°	nome	[m2]	[kg]	[kg/m2]	[MJ]	[MJ/m2]	[MJ/kg]	[kgCO2eq]	[kgCO2eq/m2]	[kgCO2eq/kg]
5	Villa Strohbunt	103	106.864	1.038	152.943	1.485	1,43	-47.906	-465	-0,45
6	Createrra	65	166.427	2.560	802.515	12.346	4,82	-14.701	-226	-0,09
7	Gartist	125	343.872	2.751	2.870.826	22.967	8,35	-130.775	-1046	-0,38
8	Hemp cottage	76	129.560	1.700	575.343	7.550	4,44	15.990	210	0,12
9	Bamboo Ark	176	29.460	167	253.430	1.440	8,60	4.845	28	0,16
10	Biestøa	153	329.165	2.151	1.373.869	8.980	4,17	25.165	164	0,08
11	Food Hub	61	67.683	1.110	303.307	4.972	4,48	3.604	59	0,05
12	Wangeliner Garten	156	340.417	2.182	810.835	5.198	2,38	8.665	56	0,03
13	WISE	2.212	1.966.399	889	15.159.743	6.853	7,71	-178.197	-81	-0,09
14	Maruyama-gumi	183	276.623	1.512	1.412.038	7.716	5,10	9.941	54	0,04
15	Canica	159	314.700	1.984	45.901	289	0,15	38,68	0,24	0,00

Tab. 12 - Valori dei casi studio



Tab. 13 - Percentuale della categoria di materiale rispetto al peso totale

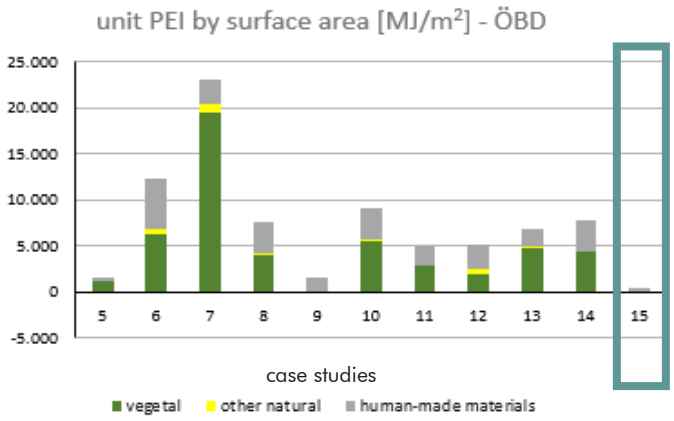
Se si osservano i valori relativi al peso di Canica (numero 15 del grafico), appare evidente come le categorie di materiali artificiali e di materiali naturali non vegetali siano quelle preponderanti, rispettivamente con il 49% e con il 33%. In particolar modo i materiali artificiali che incidono maggiormente sono l'acciaio e il calcestruzzo presenti nelle fondazioni dell'edificio, mentre, per la categoria materiali naturali non vegetali, il materiale che incide maggiormente è la terra. La componente vegetale è la più bassa e incide per il 20% sul totale.



Tab. 14 - Valore del rapporto kg/m^2

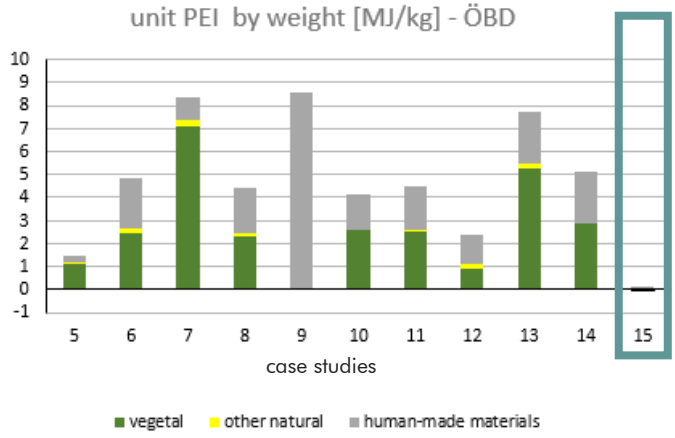
Rispetto agli altri casi studio, Canica (numero 15 del grafico) si colloca in una posizione intermedia, poiché la massiccia presenza di calcestruzzo e metallo fa crescere notevolmente la percentuale di materiali artificiali, i quali incidono in modo preponderante rispetto ai materiali naturali, siano essi vegetali o no. I valori massimi della componente percentuale vegetale si riscontrano nei casi 5,7,13, con delle percentuali che variano dal 35 al 25%, mentre, per i medesimi casi studio, la componente dei materiali naturali non vegetali ha percentuali che variano dal 56 al 42%.

Bisogna tenere in considerazione che i casi studio sono molto differenti fra di loro: le dimensioni sono differenti, così come i materiali utilizzati e le tecniche costruttive adottate; per fare il confronto si analizza il peso al m^2. Canica ha un peso pari a 1984 kg/m^2, in linea con altri casi studio in cui il peso dei materiali artificiali è molto elevato (casi 8, 10, 12, 14) a causa dell'impiego di calcestruzzo. Un peso maggiore ha invece il caso studio 6, per il quale, però, la componente di peso maggiore (74%) è quella naturale non vegetale, per via della terra utilizzata.



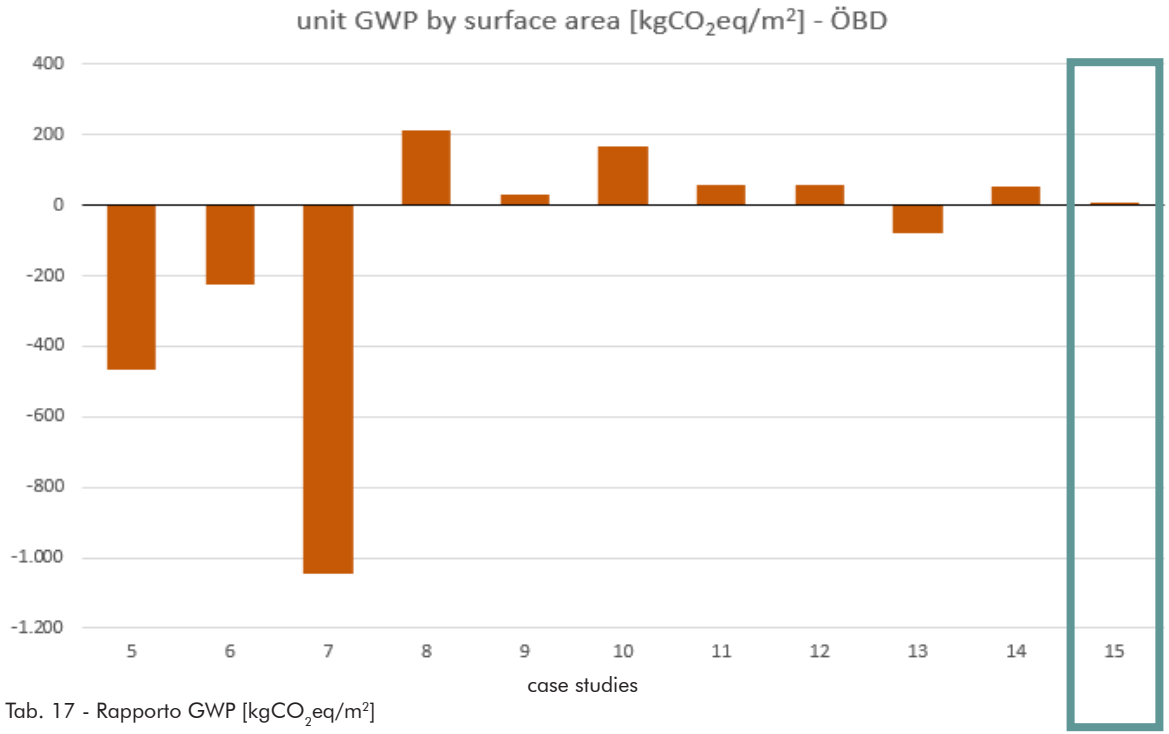
I valori medi PEI fra tutti i casi studio sono 7.254,18 MJ/m² e 4,7 MJ/kg. I materiali che maggiormente influenzano questi risultati sono quelli artificiali e quelli vegetali, mentre i materiali naturali non vegetali hanno uno scarso impatto. Fra i casi analizzati, Canica (numero 15 del grafico) risulta l'edificio più virtuoso se si considera il valore PEI in rapporto alla superficie dell'edificio, con un valore di 289 MJ/m².

Tab. 15 - Rapporto PEI [MJ/m²]

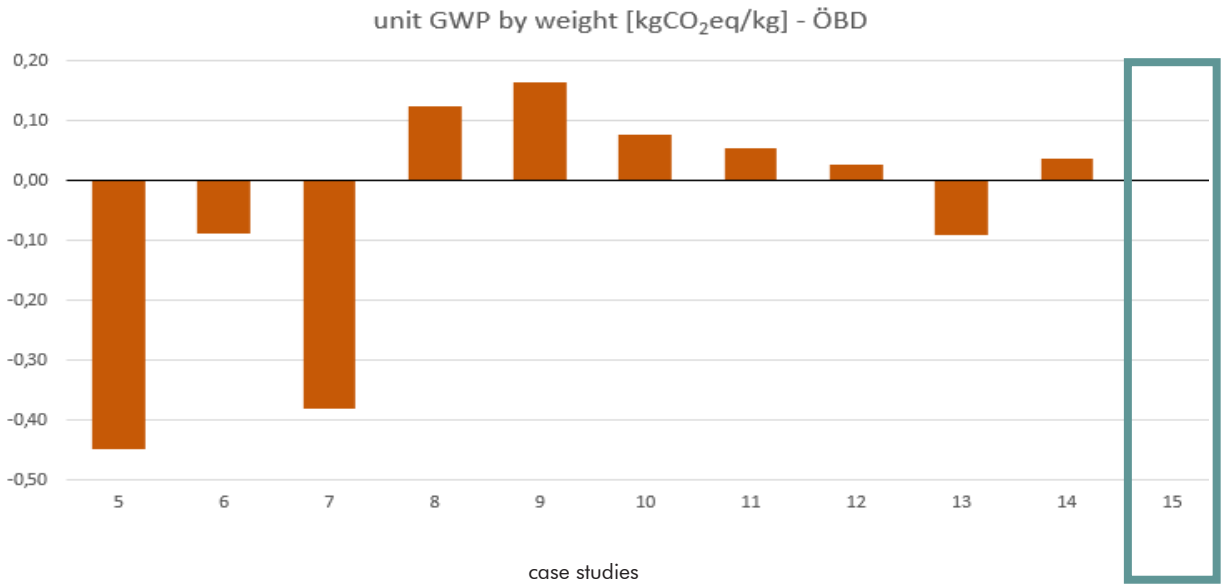


Tab. 16 - Rapporto PEI [MJ/kg]

Per quanto riguarda i valori GWP, molti casi studio presentano valori negativi (in particolare i casi 5, 7). Canica presenta un valore GWP per classe di materiale molto basso, pari a 39 $kgCO_2eq$, mentre restituisce un valore pari a 0,24 $kgCO_2eq/m^2$ (tab. 17) e 0 $kgCO_2eq/kg$ (tab. 18). I valori sono prossimi allo zero poiché l'alto valore di GWP dato dal metallo presente nelle fondazioni viene azzerato da quello fortemente negativo del legno, rispettivamente di 1125 $kgCO_2eq$ e di -1298,65 $kgCO_2eq$.



Tab. 17 - Rapporto GWP [$kgCO_2eq/m^2$]



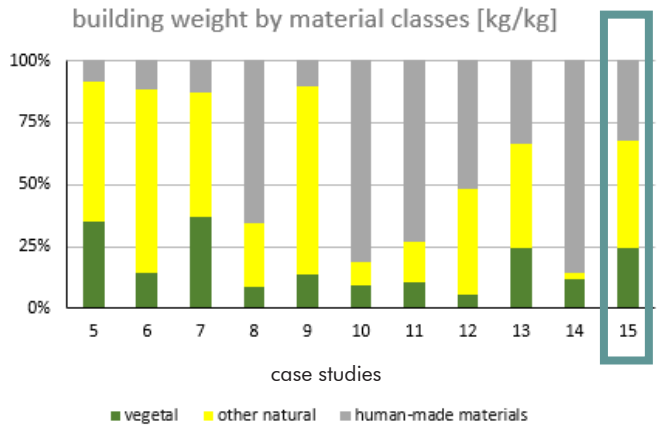
Tab. 18 - Rapporto GWP [$kgCO_2eq/kg$]

6.6 Confronto con alternativa con fondazioni in gabbioni di acciaio e riempimento con sassi

Si è deciso di calcolare i valori di PEI e GWP nel caso in cui si fossero realizzate le fondazioni in gabbioni di acciaio riempiti di sassi, proposta dell'architetto Ferraresi al Comune di Fornovo di Taro. Si sono ipotizzati 12 gabbioni di acciaio della dimensione 60x60x120 cm a sostegno dei 12 pilastri portanti dell'edificio. Il volume di pietre totale è di 0,43 m^3 e la lunghezza totale delle barre di acciaio (diametro 8 mm) è di 172,80 m.

caso studio		area	peso		EE (ÖBD)			GWP (ÖBD)		
n°	nome	[m2]	[kg]	[kg/m2]	[MJ]	[MJ/m2]	[MJ/kg]	[kgCO2eq]	[kgCO2eq/m2]	[kgCO2eq/kg]
5	Villa Strohbunt	103	106.864	1.038	152.943	1.485	1,43	-47.906	-465	-0,45
6	Createrra	65	166.427	2.560	802.515	12.346	4,82	-14.701	-226	-0,09
7	Gartist	125	343.872	2.751	2.870.826	22.967	8,35	-130.775	-1046	-0,38
8	Hemp cottage	76	129.560	1.700	575.343	7.550	4,44	15.990	210	0,12
9	Bamboo Ark	176	29.460	167	253.430	1.440	8,60	4.845	28	0,16
10	Biestøa	153	329.165	2.151	1.373.869	8.980	4,17	25.165	164	0,08
11	Food Hub	61	67.683	1.110	303.307	4.972	4,48	3.604	59	0,05
12	Wangeliner Garten	156	340.417	2.182	810.835	5.198	2,38	8.665	56	0,03
13	WISE	2.212	1.966.399	889	15.159.743	6.853	7,71	-178.197	-81	-0,09
14	Maruyama-gumi	183	276.623	1.512	1.412.038	7.716	5,10	9.941	54	0,04
15	Canica	159	256.898	1.619	44.822	283	0,17	-196	-1	0,00

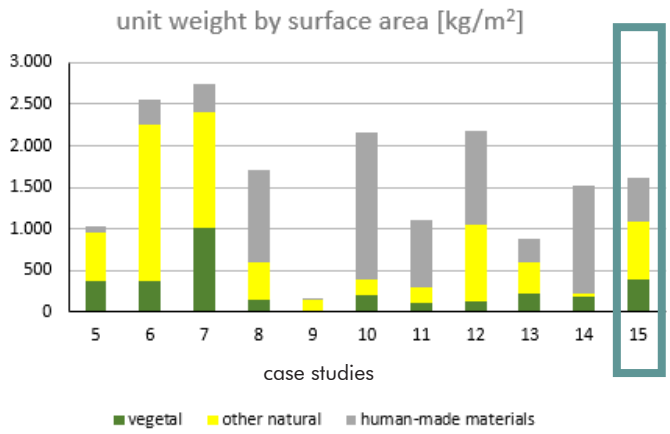
Tab. 19 - Valori dei casi studio



Tab. 20 - Percentuale della categoria di materiale rispetto al peso totale

I cambiamenti rispetto alla situazione attuale riguardano il peso dell'edificio, diminuito a 256.898 kg (i kg di materiali naturali sono aumentati da 102.997 a 109.995 kg). Conseguentemente , è diminuito il peso per unità di superficie passando da 1984 kg/m^2 a 1619 kg/m^2. Il valore di PEI in rapporto all'area è sceso da 289 a 283 MJ/m^2. Ciò che davvero è migliorativo è il valore di GWP per classe di materiale, il quale si attesta a -196 kgCO_2eq.

Rispetto al caso precedente, che è stato realizzato, si può notare come la quantità di materiali artificiali sia diminuita, questo per l'assenza di calcestruzzo. Viceversa è aumentata la quota di materiale naturale non vegetale data dall'impiego di pietre nelle fondazioni a gabbioni (tab.20).



Tab. 21 - Valore dato dal rapporto kg/m²

Allo stesso modo si può riscontrare come il peso per unità di superficie dei materiali artificiali sia notevolmente diminuito, questo a causa dell'assenza di calcestruzzo per le fondazioni. Viceversa, si può osservare come vi sia un leggero incremento di peso per unità di superficie dei materiali naturali non vegetali dato dall'utilizzo di pietre in fondazione (tab.21).

Note:
Le elaborazioni grafiche sono personali.

6.7 Conclusioni

Da questa analisi si può giungere alla conclusione che l'impatto dei materiali non naturali, quali calcestruzzo e acciaio, incidono fortemente sia sul peso dell'edificio che sui valori di PEI e GWP. Per colmare l'impatto di questi materiali è necessaria una forte presenza di materiali in grado di immagazzinare al loro interno la CO_2 durante la loro vita, così da equilibrare quella prodotta dai materiali artificiali durante il loro ciclo di produzione.

Dopo 6 anni dalla realizzazione dell'edificio non si sono presentati eventi che hanno compromesso la durabilità. Un difetto evidenziato dal proprietario è legato alla posa dei serramenti, da una ditta non specializzata nell'installazione di serramenti su supporto in legno e intonaco in terra cruda, in cui si è crepato l'intonaco in piccole porzioni prossime alle cerniere dei serramenti (fig. 1). Queste porzioni di intonaco sono state subito ripristinate.

L'altro difetto è rappresentato da una luce fra il pavimento e la soglia esterna in cui si infiltra l'acqua quando piove (fig. 2). Questo difetto è stato risolto alzando la soglia esterna.

In conseguenza all'uso di materiali naturali, si può apprezzare l'assenza di emissioni di VOC (*Volatile Organic Compounds*) e, a livello di percezione olfattiva, non si percepisce odore di chiuso, anche con i serramenti chiusi. Tutti i locali sono ben illuminati dalla luce solare.
I colori naturali dell'intonaco e del legno trasmettono un senso di tranquillità e di ospitalità a chi visita l'abitazione.
Sia Carlo Gazzi che la moglie svolgono le loro attività lavorative presso Canica: Carlo come grafico e illustratore, mentre la moglie come psicoterapeuta. Per entrambe le professioni vi sono sicuramente dei vantaggi rispetto al vivere in città: ambiente più salubre e immerso nel verde che, probabilmente, migliorano i risultati terapeutici e danno ispirazione a Gazzi per i suoi lavori.

Note:
Le fotografie sono di proprietà di Carlo Gazzi.

La speranza è che l'argomento e l'edificio analizzato in questa tesi sia di esempio e di stimolo per continuare a investire sulla bioedilizia e sulle tecnologie annesse. Mi auspico di cuore che le abitazioni sostenibili, in particolare con tecniche costruttive naturali, aumentino in maniera esponenziale e le persone considerino la possibilità di vivere in un'abitazione naturale, che 'respira'. Sicuramente il poter vivere in un contesto simile è da tenere in considerazione soprattutto da chi è affetto da malattie respiratorie e da stati ansiosi: in questo luogo sono assenti i rumori e lo smog dell'ordinario contesto cittadino.

Bibliografia

Saracco Mauro. Architettura in terra cruda, Il caso delle Marche, Firenze, Alinea Editrice, 2002

Mattone Roberto. Il paesaggio delle case in terra cruda, Temi per il paesaggio, Savigliano, L'artistica, 2010

Marcom Alain. Construire en terre-paille, Mens, Francia, Terre vivante, 2011

Volhard Franz. Light Earth Building: A Handbook for Building With Wood and Earth, Birkhauser, 2016

Gernot Minke. Building With Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Basel, Birkhauser, 2012

Gernot Minke. Straw Bale Construction Manual: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Basel, Birkhauser, 2020

Gernot Minke. Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture Fourth and revised edition, Basel, Birkhauser, 2021

Doleman Lydia. Essential Light Straw Clay Construction: The Complete Step-by-Step Guide, Gabriola Island, New Society Publishers, 2017

Drozd Wojciech. Light straw clay bale solution in the contemporary housing as an element of sustainable development. Select issues, EDP Sciences, 2016, vol 10, p.16

Calatan Gabriela Adela, Toader Tudor Panfil, Ciascaiu Oana. Composite materials based on straw and clay used in the construction of walls in civil construction, Urbanism. Arhitectura. Constructii, 2021,vol 4, p.19-70

Tamošiunas Tadas [et al.], Experimental investigation of clay-straw building finishing layer under different drying conditions, Engineering structures and technologies, 2016, Vol.8 (2), p.65-70

Drozd Wojciech, Dudek M., Kowalik M., Harasymiuk J., Light clay and straw bale-based building technologies, Materials Science and Engineering, 2019, Vol.603, p.2-11

Gonzales Alejandro, Energy and carbon embodied in straw and clay wall blocks produced locally in the Andean Patagonia, Energy and buildings, 2014, Vol.70, p.15-22

Bocco Guarneri Andrea. Werner Schmidt Architekt: Ecology Craft Invention / Okologie Handwerk Erfindung, Vienna, Ambra, 2013

Bocco Guarneri Andrea. Vegetarian Architecture: Case Studies on Building and Nature, Berlino, Jovis, 2020

Baldo Gian Luca, Badino Vanni. LCA Life Cycle Assessment, uno strumento di analisi energetica e ambientale, Milano, Ipaservizi editore, 2000

Baldo Gian Luca, Marino Massimo, Rossi Stefano, Analisi del ciclo di vita LCA: materiali, prodotti, processi, Milano, Edizioni Ambiente, 2005

Baldo Gian Luca, Marino Massimo, Rossi Stefano, Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti, processi, Milano, Edizioni Ambiente, 2008

Rossetto Federica. La Gästehaus di Wangeliner Garten [tesi magistrale], Torino, Politecnico di Torino, 2018

Vangelista Gabriele. Eco minimalism and GAIA Architects: Analysis of a building oh high ecological value [tesi magistrale], Torino, Politecnico di Torino, 2022

Bertolotti Virginia. David Lea and Patrick Borer: two examples of high performance building [tesi magistrale], Torino, Politecnico di Torino, 2022

Bavetta Federica, Tomassini Alessandra. Life Cycle Assessment e l'impatto ambientale in edilizia: Analisi LCA dai materiali "Green" all'edificio" [tesi magistrale], Torino, Politecnico di Torino, 2018

Rossi Mathieu. Architettura in paglia: analisi e confronto di due casi studio [tesi magistrale], Torino, Politecnico di Torino, 2018

Tomasi Marco. Valutazioni ambientali mediante Life Cycle Assessment (LCA) sui mattoni in terra cruda: il caso studio di Pabillonis [tesi magistrale], Bologna, Alma Mater Studiorum Università degli Studi di Bologna, 2012

Piovesan Eros. Costruire con la paglia [tesi magistrale], Venezia, IUAV Venezia, 2005

Peroni Davide. Analisi LCA delle case di Pescomaggiore (AQ) [tesi magistrale], Bologna, Alma Mater Studiorum Università degli Studi di Bologna, 2010

Bocci Martina. Una visuale sull'architettura di terra tra Europa e Brasile [tesi magistrale], Torino, Politecnico di Torino, 2017

Grasselli Andrea. Hemp Cottage: analisi e valutazione della sostenibilità di un edificio ad alte prestazioni ambientali [tesi magistrale], Torino, Politecnico di Torino, 2020

Sitografia

https://www.repubblica.it/ambiente/2017/07/28/foto/carlo_benvenuti_nella_mia_casa_di_paglia
consultato il 10/04/2022

https://greenplanet.net/fuga-nel-green-con-la-casa-di-argilla-e-paglia/
consultato il 10/04/2022

https://www.edilportale.com/news/2010/06/aziende/e-nata-edilpaglia-l-associazione-italiana-edilizia-in-paglia_19065_5.html
consultato il 13/04/2022

https://terrasemplice.wordpress.com/2011/10/10/edilpaglia-e-lautocostruzione/
consultato il 16/04/2022

https://www.edificidipagliaitalia.com/blog/la-normativa-nelle-case-di-paglia
consultato il 25/04/2022

https://www.caseinpaglia.it/case-in-bioedilizia-vantaggi-paglia/
consultato il 25/04/2022

https://blog.casanoi.it/uso-della-paglia-in-edilizia/ consultato il 30/04/2022

https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/costruire-naturale-il-ruolo-della-paglia/ consultato il 03/06/2022

https://www.nonsoloambiente.it/smart-city/edilizia-sostenibile/edilizia-sostenibile-paglia
consultato il 07/06/2022

https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/altri/costruire-paglia-vantaggi-costi
consultato il 09/06/2022

https://www.asfitalia.org/about
consultato il 15/04/2022

http://architetturedallaterra.it/tecniche-costruttive-in-crudo-dalla-tradizione-allinnovazione/
consultato il 22/04/2022

https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/laterizi-terra-cruda/costruire-terra-cruda-tecniche-lavorazione-finiture-superficiali
consultato il 22/04/2022

https://terracrudaitalia.com/it/sistemi/componenti-costruttivi
consultato il 09/11/2022

http://www.designcoalition.org/StrawClay/articles/book/book.htm
consultato il 09/11/2022

https://www.teknoring.com/news/green-building/costruire-in-terra-cruda-tecnologia-e-applicazioni
consultato il 09/11/2022

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale ai miei genitori per avermi dato la possibilità di proseguire gli studi e avermi sempre motivata.

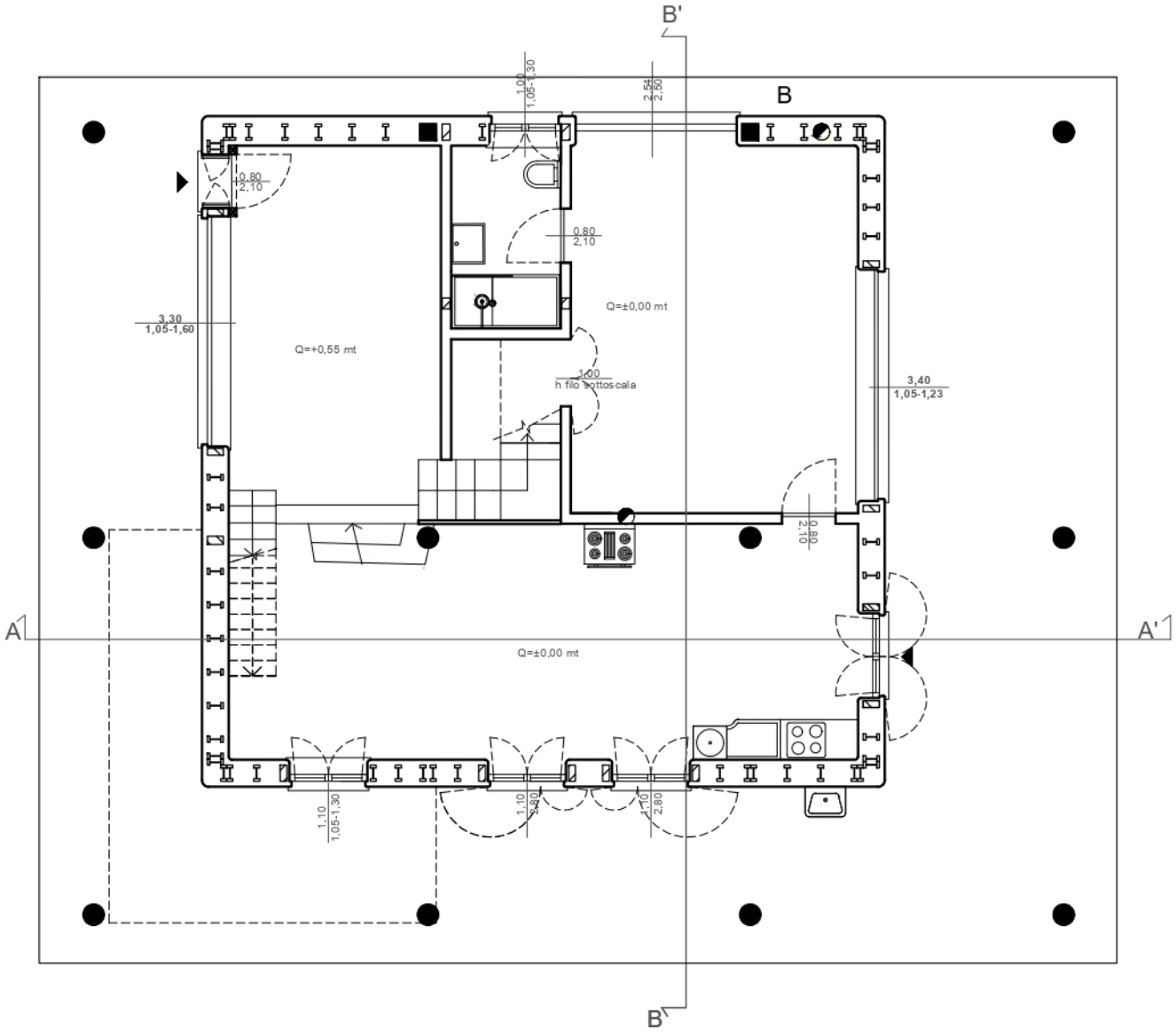
Grazie di cuore ad Andrea per avermi supportata lungo questo percorso e per essermi sempre accanto da molti anni.

Ringrazio tutti gli amici e i colleghi conosciuti durante questi anni di studio per aver reso questo percorso più leggero.

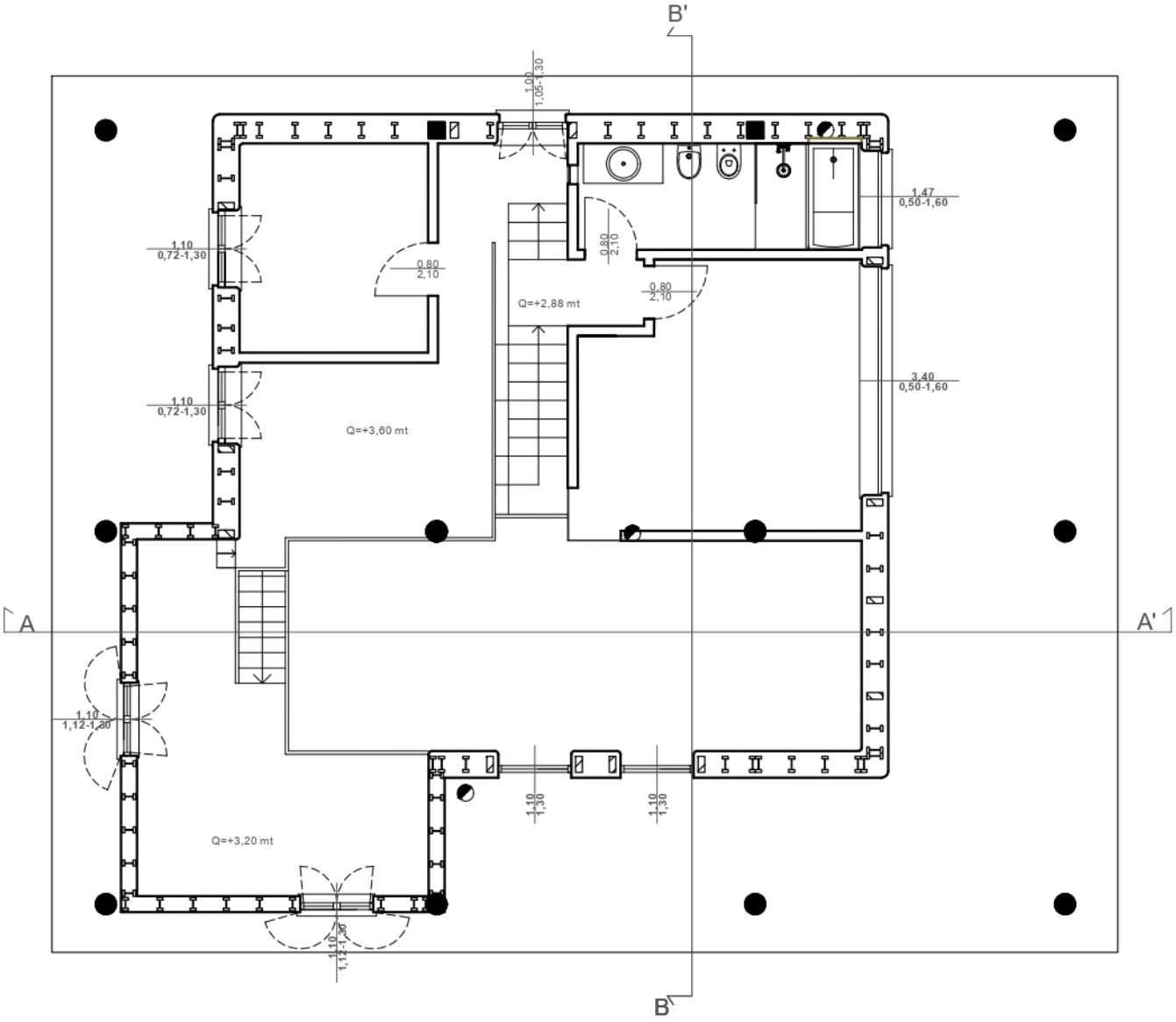
Ringrazio il prof. Andrea Bocco per la disponibilità e la dedizione con cui mi ha seguita durante questo percorso di tesi.

Ringrazio, infine, l'arch. Ferraresi e il sig. Gazzi per la gentilezza e la disponibilità dimostratami durante i nostri incontri.

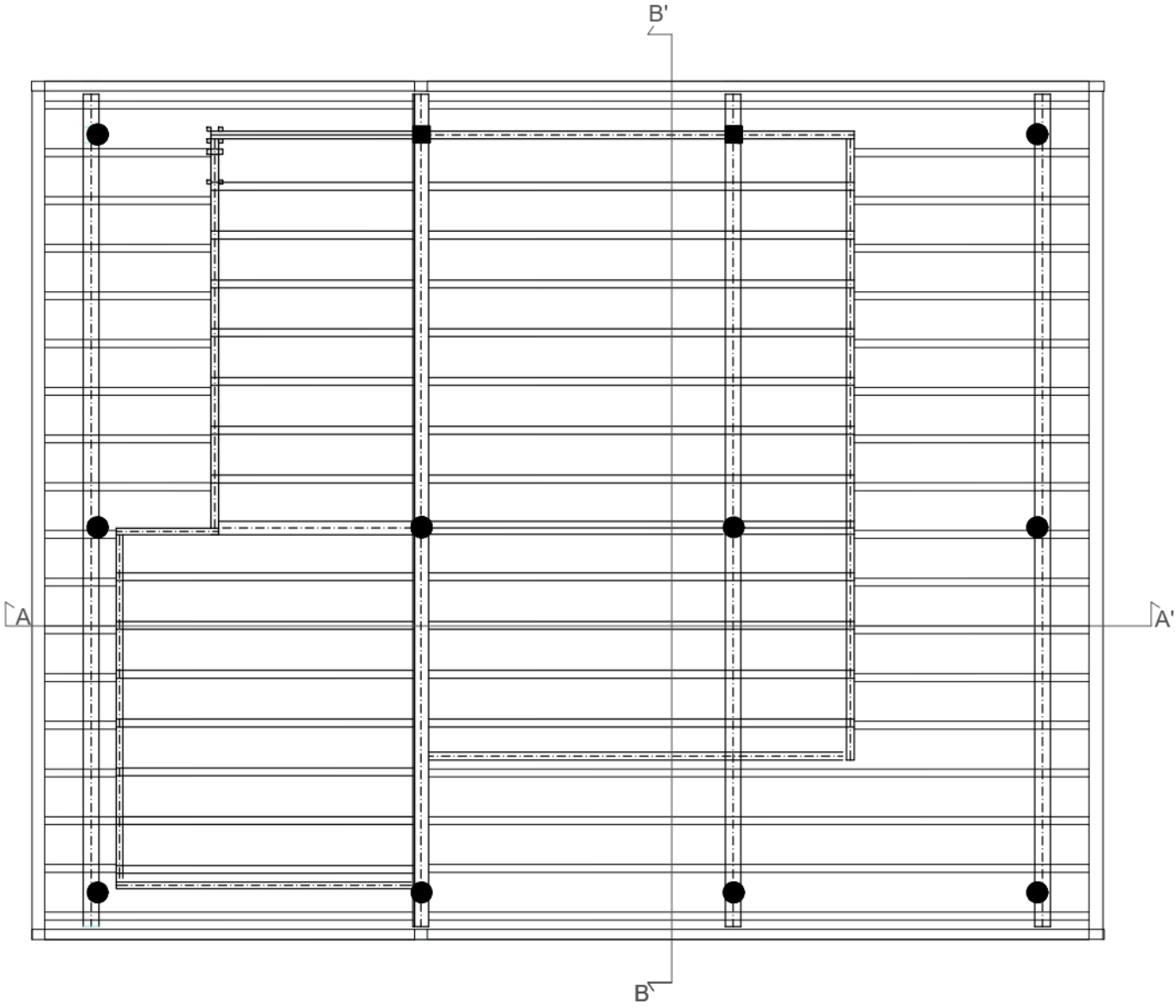
Allegati



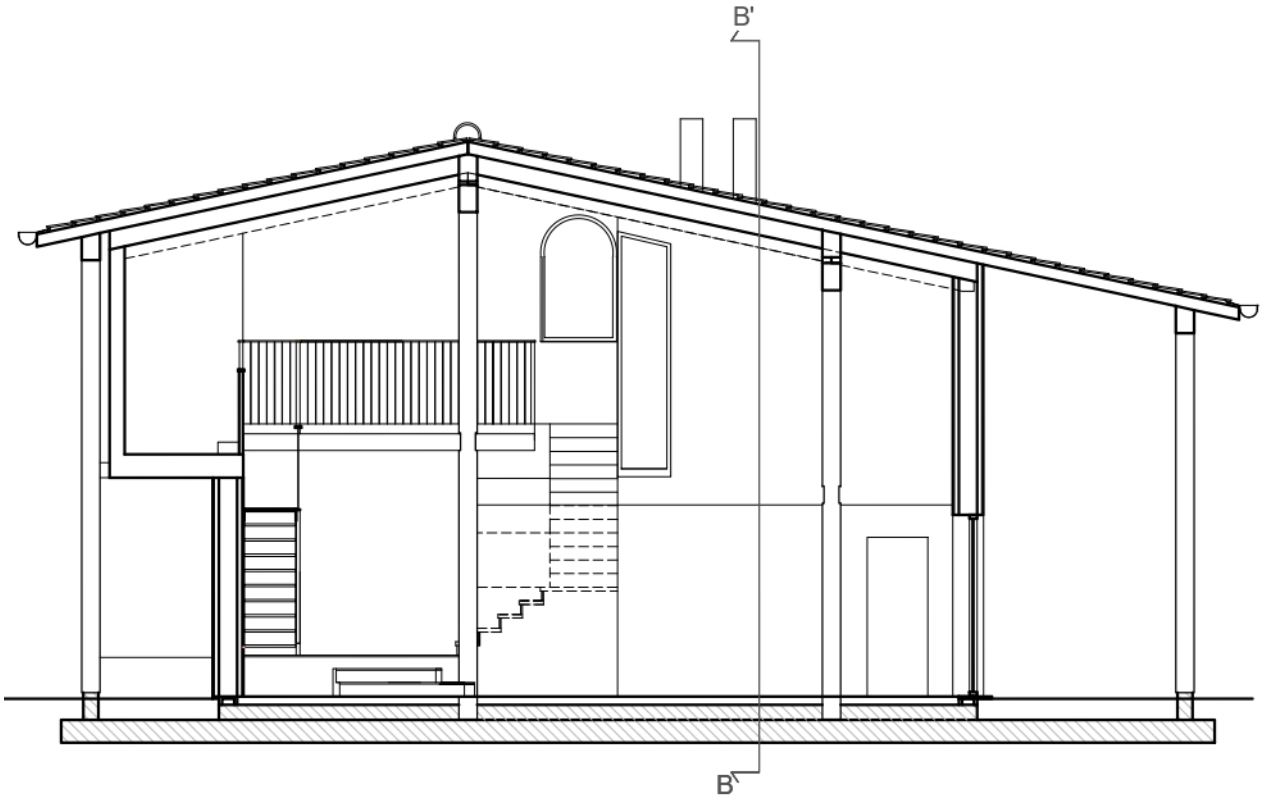
Pianta piano terra
scala 1:100



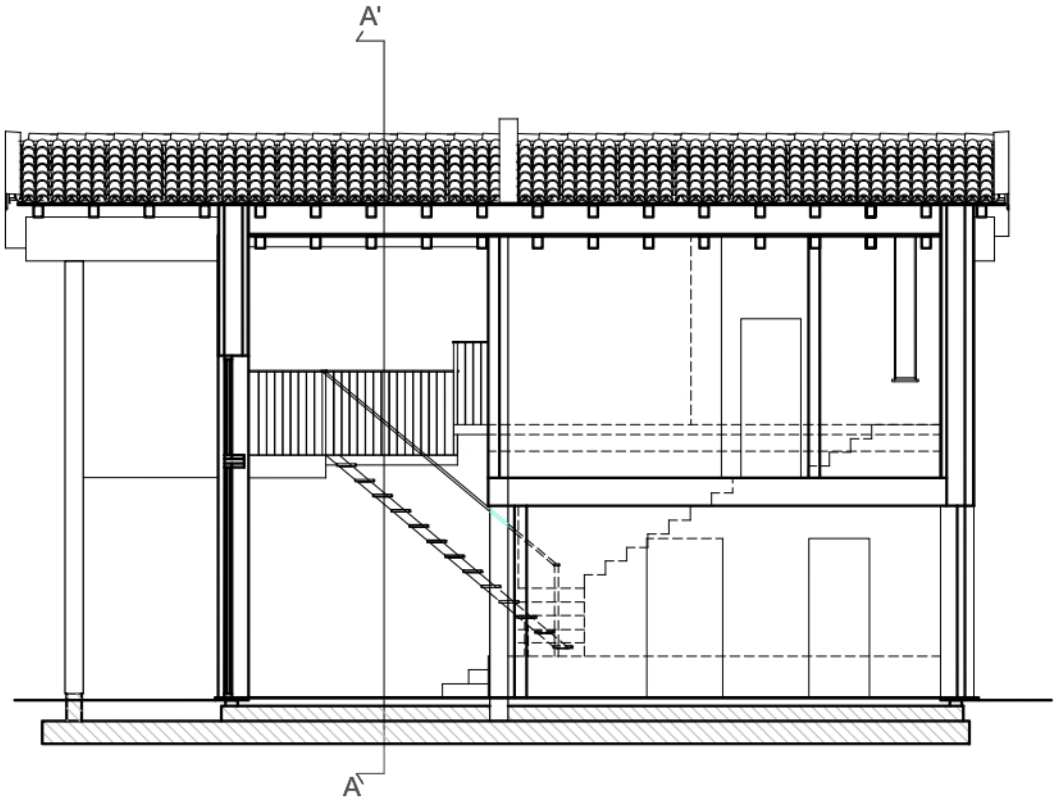
Pianta piano primo
scala 1:100



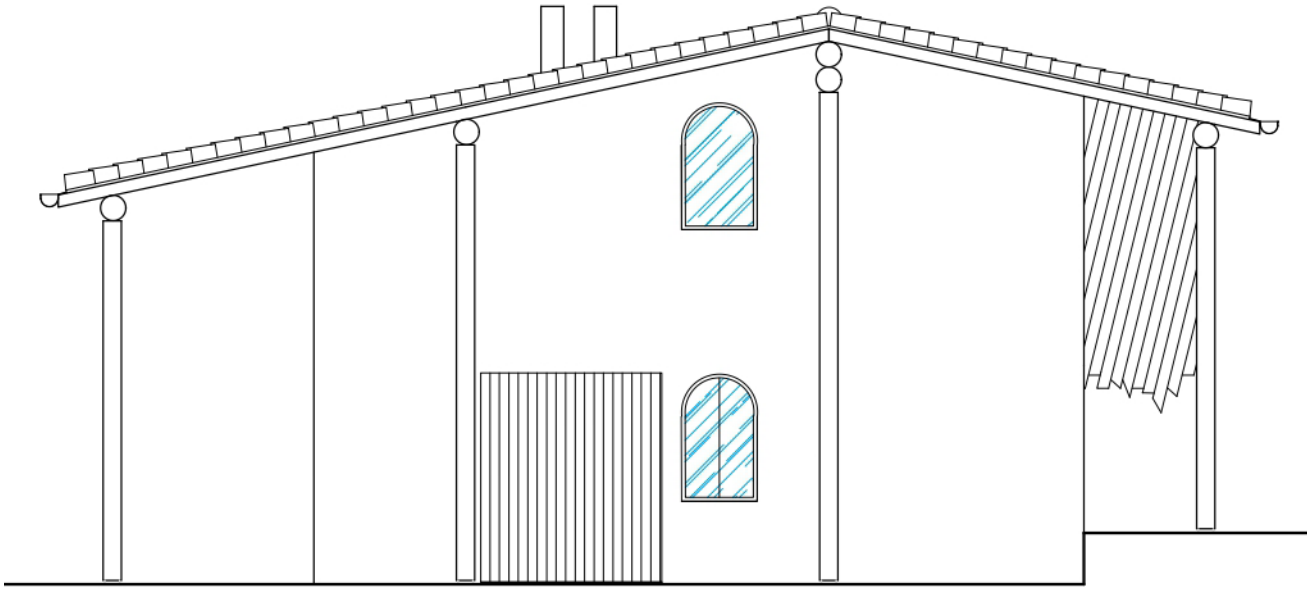
Pianta copertura
scala 1:100



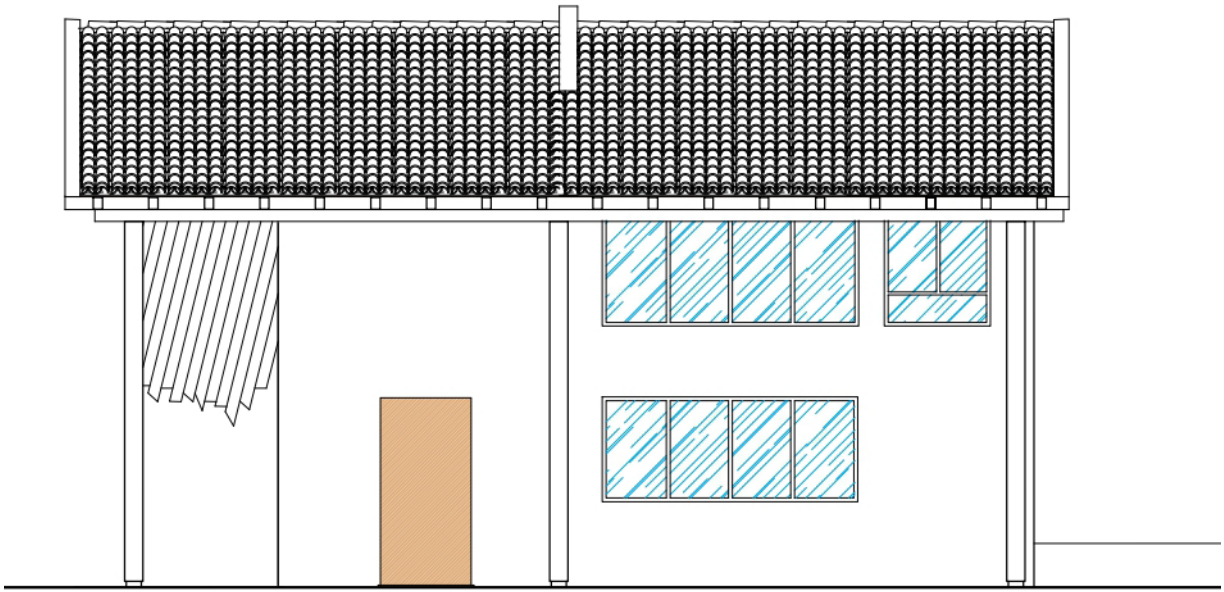
Sezione A-A'
scala 1:100



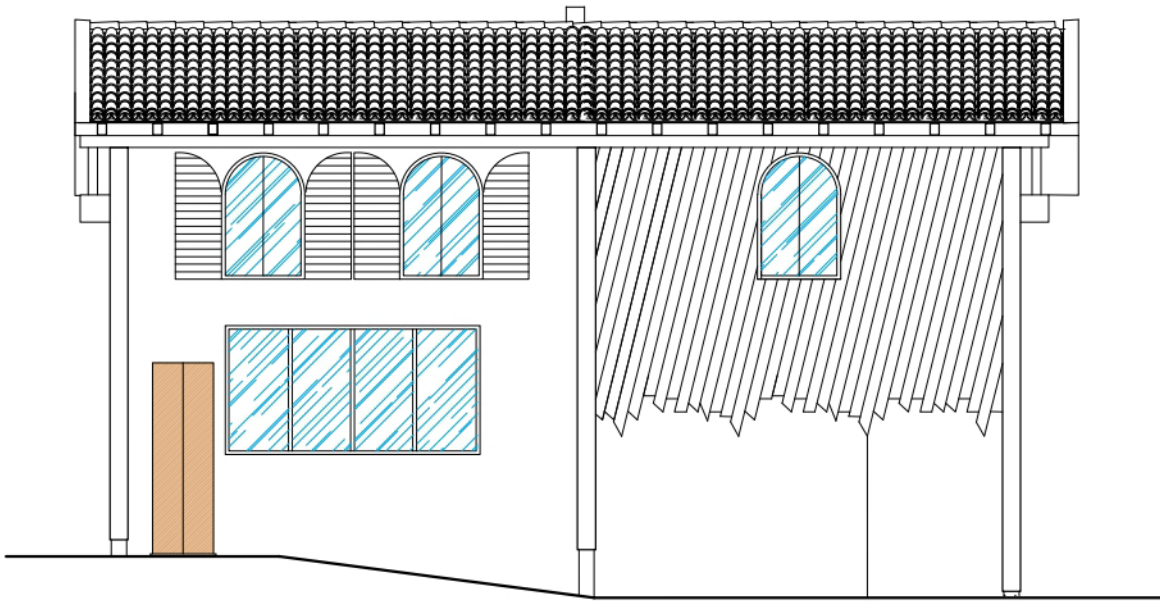
Sezione B-B'
scala 1:100



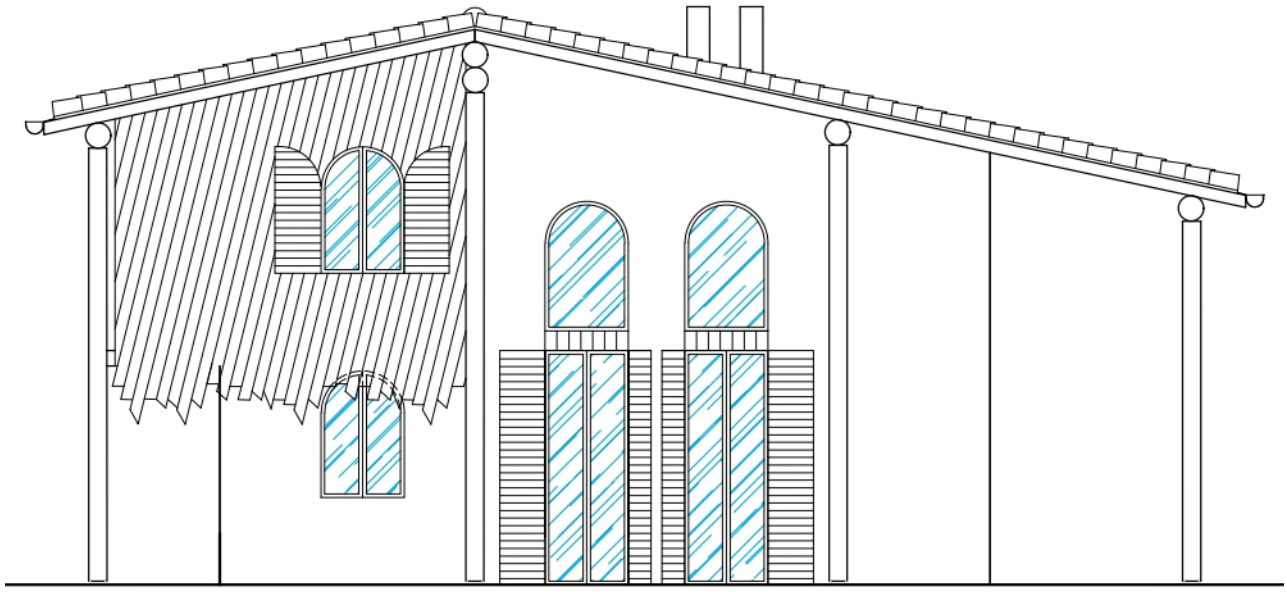
Prospetto nord
scala 1:100

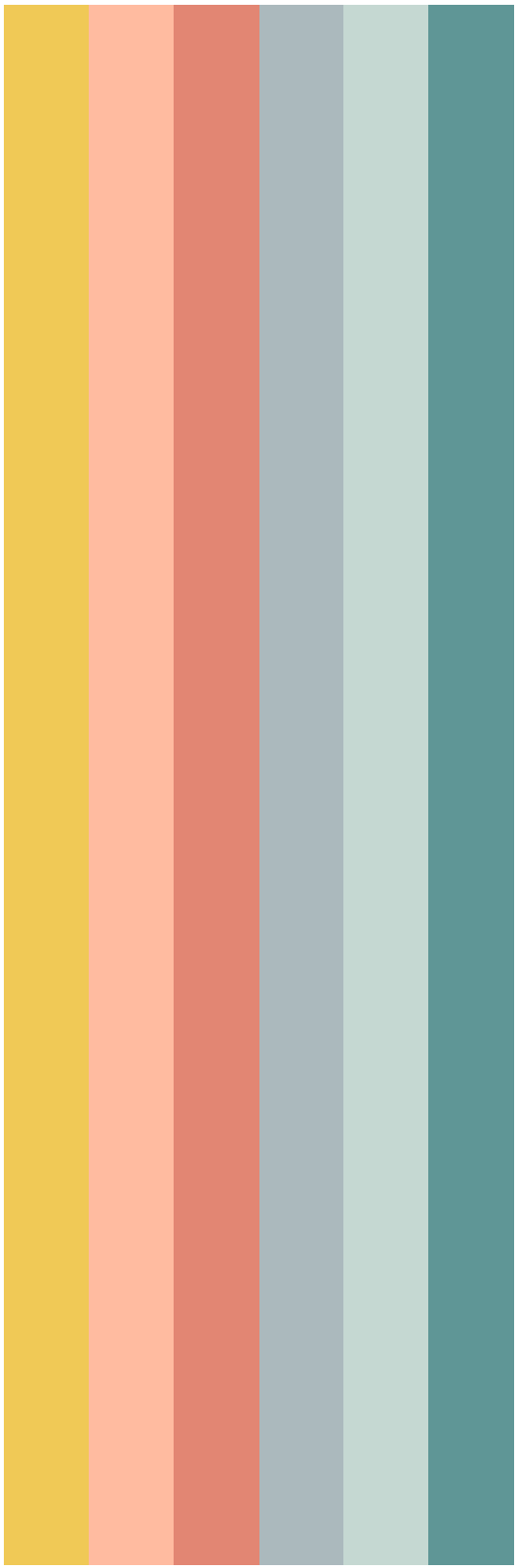


Prospetto est
scala 1:100



Prospetto ovest
scala 1:100



Prospetto sud
scala 1:100

Note:
Gli eleborati grafici sono di proprietà di Maddalena Ferraresi.