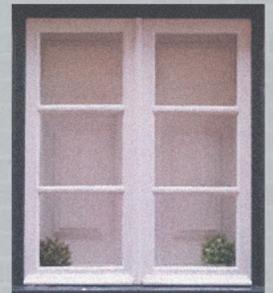
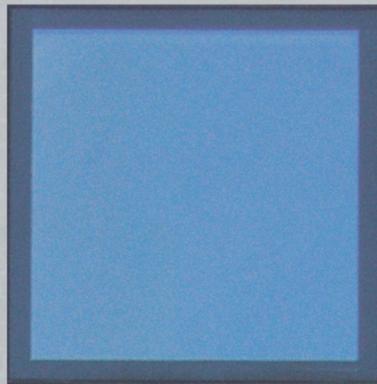


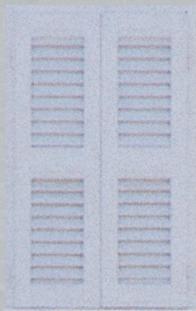
# ARCHITECTURE follows AVAILABILITY



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

Scuola AUIC  
Corso di Laurea Magistrale  
in Architettura -  
Ambiente Costruito - Interni  
A.A. 2020/21

Relatori:  
Gian Luca Brunetti  
Giovanni Di Luzio



Studentessa:  
Marta Robecchi  
matr. 926260



*In fondo in ogni visita dei luoghi portiamo con noi questo carico di già vissuto e già visto, ma lo sforzo che quotidianamente siamo portati a compiere, è quello di ritrovare uno sguardo che cancella e dimentica l'abitudine; non tanto per rivedere con occhi diversi, quanto per la necessità di orientarsi di nuovo nello spazio e nel tempo”.*

Luigi Ghirri, *Paesaggio italiano*, 1989



# Indice

<i>Abstract</i>	8
<i>1. Casamatta, Molini di Gurone, Malnate</i>	11
<i>Contesto</i>	13
<i>Casamatta</i>	15
<i>Principi di Casamatta</i>	19
<i>2. Economia circolare nelle costruzioni</i>	21
<i>Waste House</i>	29
<i>DESIGN &amp; BUILD WITH Ø KM</i>	
<i>(LOCAL AND RECYCLED MATERIALS)</i>	33
<i>Ricerca dei materiali</i>	37
<i>3. Design for Disassembly</i>	41
<i>Circle House</i>	47
<i>4. Gli spazi di Casamatta</i>	51
<i>Organizzazione degli spazi</i>	53
<i>Lo spazio della tesi</i>	57
<i>5. Verifiche strutturali del solaio e del tetto</i>	59
<i>Descrizione della struttura</i>	61
<i>5.1 Verifica del solaio</i>	65
<i>Trave secondaria</i>	71
<i>Trave principale</i>	75
<i>5.2 Verifica del tetto</i>	81
<i>Travetto</i>	83
<i>Terzera</i>	98
<i>Trave di colmo</i>	102



<i>Capriata</i>	108
<i>6. Progetti per Casamatta</i>	115
<i>Isolamento interno</i>	117
<i>Serra sospesa</i>	121
<i>Serra appesa</i>	123
<i>La stanza nella stanza</i>	129
<i>Finestra in policarbonato</i>	135
<i>7. Costruzione</i>	139
<i>Indice e fonti delle immagini</i>	161
<i>Indice delle tabelle</i>	167
<i>Bibliografia</i>	169
<i>Sitografia</i>	171

## Abstract

Abbracciato dal corso delle acque dell'Olona, un terrapieno circolare protegge i Molini di Gurone dalle piene del fiume. Nel piccolo borgo trova spazio Casamatta, associazione inserita nel più ampio progetto di Legambiente, che qui si occupa di educazione ambientale e protezione dei boschi che circondano questa piccola realtà.

La sede di Casamatta è oggetto di una ristrutturazione atipica: viene portata avanti grazie a materiali donati, recuperati, salvati dal destino di rifiuti e al lavoro dei volontari. È una sfida ambiziosa, che vuole mettere in pratica le logiche dell'economia circolare e riscoprire il fare, insieme.

Proprio da qui nasce il progetto di tesi, che cerca di tenere insieme i principi non solo dell'economia circolare, ma anche del Design for Deconstruction e del recupero dei materiali.

L'idea di partenza era di creare piccoli interventi che si inserissero nel contesto della ristrutturazione già avviata e che fossero realizzabili con le pratiche dell'autocostruzione. Focalizzandosi su uno degli ambienti, sono state svolte verifiche strutturali sull'edificio esistente, per cui sono poi stati elaborati progetti riguardanti l'involucro edilizio – in particolare l'isolamento termico, ad oggi assente –, l'aggiunta di piccole serre bioclimatiche e l'ideazione di un serramento leggero in policarbonato e legno.

Infine, il progetto ha riguardato anche la riorganizzazione interna della futura sala comune: è stato ideato un modulo aggiuntivo in legno che si relaziona con l'altezza dello spazio in cui si definisce. Il risultato è una *stanza nella stanza*, uno spazio definito non solo in sé, ma anche e soprattutto dal rapporto con l'ambiente che lo ospita.

Uno degli aspetti più interessanti è stata la possibilità di costruire una delle serre con serramenti e materiali di riciclo. La serra costruita è uno spazio-cuscinetto che media tra la temperatura interna ed esterna, ma anche spazio aggiunto in cui si può sostare o piccola oasi di verde in una corte storica

---

Embraced by the waters of the Olona river, a circular embankment protects Molini di Gurone from floods. Here roots Casamatta, an association referring to Legambiente, that is engaged in environmental education and in the preservation of the surrounding woods.

The building hosting Casamatta is subject to an atypical refurbishment, carried on thanks to offered, recycled or salvage materials and to the work of voluntary people. This is an ambitious challenge, that aims at carrying out circular economy strategies and at rediscovering how to make things, together.

Here begins the thesis project, trying to gather principles of circular economy, but also those of Design for Deconstruction and of materials upcycling.

The starting point was the idea to imagine self-buildable, small interventions in between ongoing refurbishment works. Focusing on one area of the building, structural tests have been performed; projects for the building envelope – in particular thermal insulation – have followed, together with ideas for added solar greenhouses and the project for a lightweight, transparent window made from wood and polycarbonate.

Finally, the project included the reorganization of the interior space of the future common area through an added element made of wood that dialogues with the height of the space in which it is outlined. The outcome is a *room in a room*, a space defined not only in itself, but also and mostly by the relation with its surrounding environment.

One of the most interesting and stimulating phases of the thesis project was the chance to build one greenhouse from recycled windows and timber. The greenhouse is a mediation space between internal and external weather conditions, but also an added space in which to rest or a green oasis in a historical courtyard.



**CASAMATTA<sup>1</sup>**  
Molini di Gurone, Malnate

1.1:  
*L'anello dei Molini  
di Gurone*



1.2:  
*Piena  
dell'Olona*



## Contesto

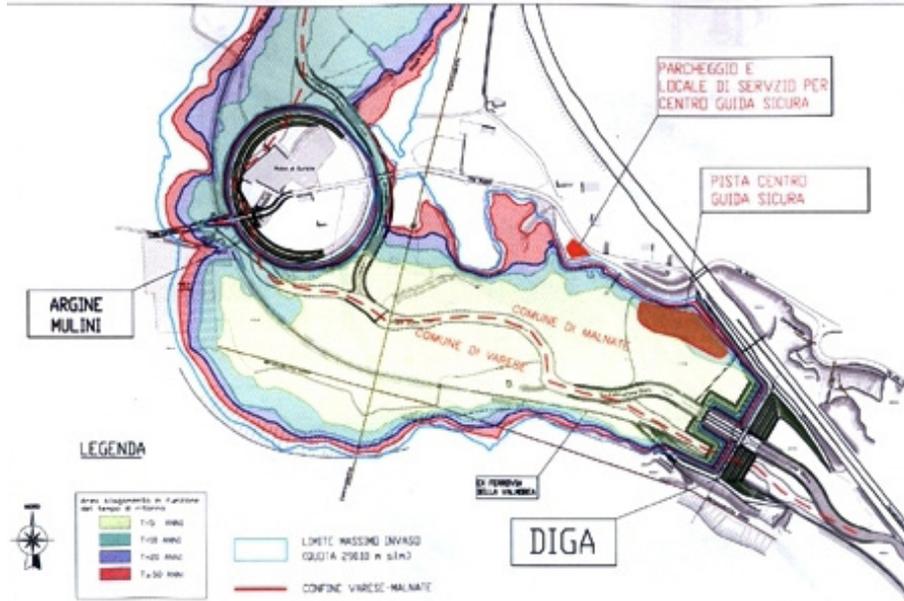
Nei pressi di Malnate (VA) si trova il piccolo borgo dei Molini di Gurone, incorniciato tra i boschi e le colline di Bizzozzero e Malnate. L'insediamento era un tempo fondato sulla vicinanza al fiume Olona, le cui acque venivano utilizzate per il funzionamento di mulini e falegnameria. Oggi il nucleo storico è ancora abitato, ma giace in parziale stato di abbandono.

Ma l'aspetto sicuramente più peculiare ed eccezionale è l'anello che circonda il borgo: a seguito della costruzione di una diga lungo il corso dell'Olona – che scorre proprio a pochi metri dalla frazione e che era causa di numerose inondazioni nelle aree lambite dalle sue acque – nel 2009, l'area dei Molini è diventata vasca di laminazione in caso di piena del fiume. Tuttavia, la volontà degli abitanti di rimanere in questo luogo ha portato alla costruzione di una ulteriore diga a terrapieno di forma circolare – con un diametro di circa 250 m – proprio a protezione del piccolo centro abitato, nonché area di interesse storico-industriale.

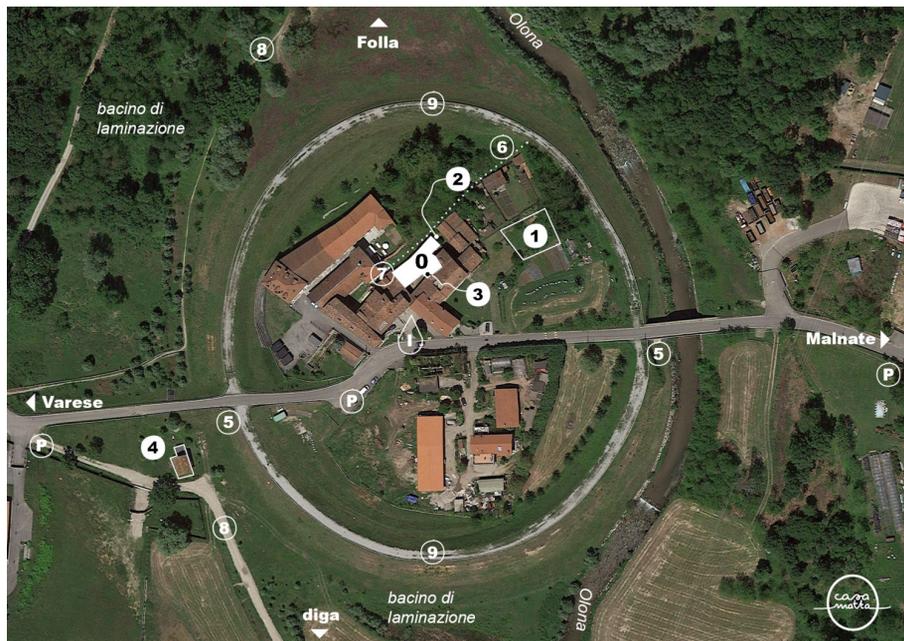
In questo contesto trova posto Casamatta, una piccola realtà di volontariato che si inserisce nel più ampio panorama delle attività di Legambiente dal 1994.

Oltre all'edificio nel nucleo abitato, è gestito da Legambiente anche l'ex casello n. 10 della Ferrovia della Valmorea, che collegava Castellanza e Mendrisio. La linea ferroviaria, oggi in disuso, è oggetto di discussioni in merito a una rimessa in funzione, come linea ferroviaria, come percorso ciclabile o come sentiero per trekking. Tuttavia, essendo in posizione decentrata rispetto al borgo, il piccolo edificio è rimasto al di fuori dell'anello, e viene pertanto sommerso in caso di chiusura dello sbarramento sull'Olona.

## “Opere di riduzione dei colmi del fiume Olona – Malnate”



1.3:  
La diga  
sull'Olona



### Mulini di Gurone

0 Casamatta

dispositivi

- 1 orto
- 2 forno comune
- 3 soggiorno/ex stalla
- 4 ex casello

punti di interesse

- 5 ponti
- 6 roggia molinara
- 7 ruota/mulino
- 8 ex ferrovia

9 anello

I ingresso

1.4:  
Gli spazi ai Molini  
di Gurone



# Casamatta

Nel piccolo insediamento, Legambiente Varese ha rilevato da qualche anno un edificio con l'intenzione di renderlo un luogo aperto a tutti, un luogo di incontro, di passaggio, di sosta. L'associazione Casamatta vuole portare i campi di volontariato e l'educazione ambientale ai Molini di Gurone, in un'area ricca di risorse ambientali – l'Olona, i boschi – da tutelare e valorizzare attraverso una rete di presenze che costituisce uno dei principali strumenti di azione di Legambiente sul territorio<sup>1</sup>.

Ma Casamatta è un progetto ambizioso, da realizzare poco alla volta, senza fretta, con quello che c'è. La filosofia principale è infatti quella dell'economia circolare, che prevede di riutilizzare e riciclare tutto il possibile – anche con fini diversi da quelli di partenza – con il minor spreco possibile, combinata con la pratica dell'autocostruzione: quasi tutto quello che viene costruito a Casamatta è fatto dai volontari con le proprie mani.

La prima operazione, necessaria per i lavori successivi, è stata affidare a un'impresa il rifacimento del tetto, non recuperabile a causa del lungo abbandono. La nuova copertura (attualmente sprovvista di isolamento termico) è stata posizionata al di sopra delle travi e delle capriate esistenti, con interventi di consolidamento laddove necessari.

Il progetto di ristrutturazione degli spazi è dunque partito dalla ricostruzione del forno comune del borgo, realizzato dai volontari con materiali in gran parte di recupero, in parte acquistati appositamente. Il forno, di proprietà degli abitanti della corte, può essere utilizzato ogni domenica da tutti gli iscritti a Legambiente; vuole essere occasione di incontro e di scambio, di ritrovo e di riscoperta delle cose semplici e del fare, insieme.

A quella del forno è seguita la ristrutturazione della ex stalla, ora

1. fonte: <https://sites.google.com/site/legambienteva/unosguardosottoil-ponte>

1.5:  
*L'ex stalla, ora  
soggiorno aperto*



1.6:  
*Lavori di rifaci-  
mento del solaio  
dell'ex legnaia*





1.7:  
*Forno comune*



1.8:  
*Ex roggia molinara*

2. curato in collaborazione con l'associazione *Radici*

soggiorno e spazio aperto alla città per incontri e conferenze. In fasi diverse sono poi stati realizzati o risistemati il solaio dell'ex legnaia, un bagno accessibile, il rinforzo e l'isolamento del solaio della sala comune, una cucina provvisoria, un orto<sup>2</sup> e piccoli lavori di manutenzione e riconfigurazione degli spazi. Per il futuro è prevista la risistemazione della cucina, situata al piano terra, con l'idea che possa essere luogo di preparazione di cibi destinati alla vendita, aperta a chi dovesse averne bisogno; la destinazione di uno spazio a sede stabile di Legambiente a Casamatta; la realizzazione di un ostello, utilizzabile in occasione dei campi di volontariato. Sono inoltre attualmente presenti diversi spazi che fungono da magazzino per i materiali raccolti nel corso tempo, che qui vengono conservati in attesa di un futuro utilizzo.

# Principi di Casamatta

Il progetto di recupero dell'edificio è piuttosto ambizioso: la sfida è quella di ristrutturare gli spazi secondo i principi dell'economia circolare, con materiali di recupero e grazie al lavoro fai-da-te.

L'idea di fondo è quella non di basare i materiali sul progetto, ma di elaborare e adattare il progetto sulla base di quello che si ha a disposizione e di acquistare quindi materiali nuovi solamente qualora non se ne possa fare a meno. Così è iniziata ormai da qualche anno una raccolta di materiali di diverso tipo - soprattutto legname - oltre alla raccolta per un futuro utilizzo dei materiali derivanti dalle parziali demolizioni effettuate nell'edificio stesso. A casamatta, alla nostra prima vista, erano già presenti, oltre a tegole, mattoni e materiali isolanti, diversi tipi di legno - rivestimenti a perline, pannelli, listelli - provenienti principalmente dalla sostituzione del rivestimento di un'abitazione e dallo smantellamento di un negozio di articoli sportivi.

Il legno disponibile è stato in parte usato per iniziare i lavori di isolamento termico di alcuni ambienti, realizzato all'interno per non intaccare la facciata e perché realizzabile in autocostruzione: con i listelli è stata creata un'intelaiatura accostata alla parete; al suo interno sono stati posizionati materiali isolanti, anch'essi di recupero, come materassini riflettenti, e infine la contro-parete è stata chiusa con i pannelli di legno di cui sopra.

Nel corso del tempo sono stati organizzati workshop di autocostruzione di arredi, tutti realizzati con materiali di scarto: una panchina costruita con elementi in legno e una tapparella non più in uso; tavoli e sedie con pezzi in legno di recupero



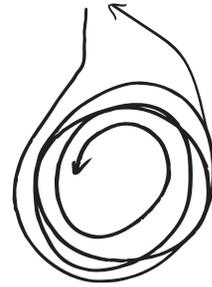
# ECONOMIA CIRCOLARE<sup>2</sup>

*nelle costruzioni*

**LINEAR ECONOMY**

**RECYCLING ECONOMY**

**CIRCULAR ECONOMY**



2.1:  
*Confronto tra  
economia lineare,  
economia del  
riciclo ed economia  
circolare*

CC by Circular Flanders

Per economia circolare si intende “un modello di produzione e consumo che implica il riutilizzo, la riparazione, la ristrutturazione e il riciclo dei materiali e dei prodotti esistenti per mantenere i materiali all’interno del sistema economico ove possibile. L’economia circolare implica che il rifiuto stesso diventi risorsa, riducendo così al minimo la quantità effettiva di rifiuti. Tale modello è in genere contrapposto al modello tradizionale dell’economia lineare, basato sul modello ‘prendi-produci-consuma-getta.’”<sup>3</sup>

3. Definizione da:  
<https://www.euro-parl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html>

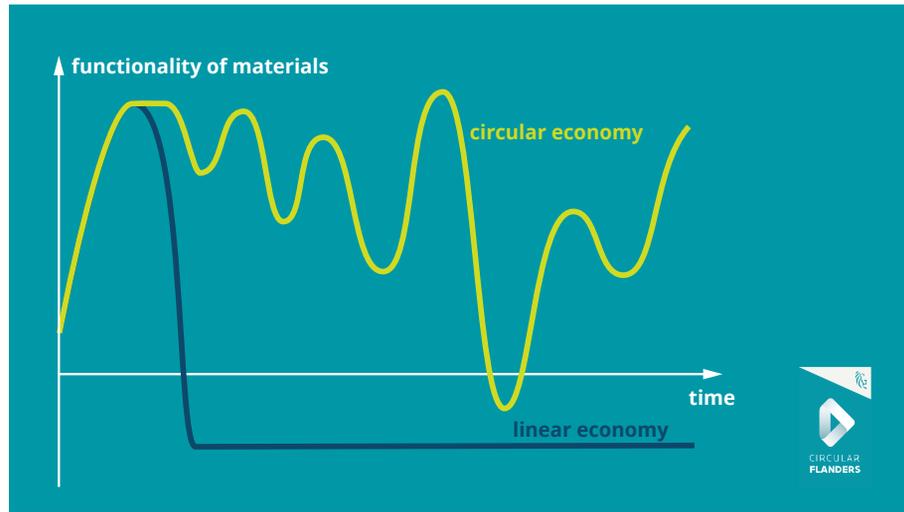
L’economia circolare mira quindi a usare quello che c’è invece che produrre nuovi oggetti o estrarre altri materiali, in un’ottica di riduzione dei rifiuti al minimo indispensabile. Tale strategia è fondamentale per contrastare le logiche dell’economia lineare, soprattutto in un momento come quello attuale, caratterizzato da forte domanda e scarsità delle risorse e regolato da un modello economico e di sviluppo i cui ritmi non sono più sostenibili, e per ridurre l’impatto ambientale delle attività umane.

Il riciclo dei materiali riduce inoltre anche l’impronta ecologica delle attività umane, ossia l’«*Indice statistico che confronta il consumo umano di risorse naturali di una certa porzione di territorio, per es. un’area urbana, con la capacità della Terra di rigenerarle, stimando l’area biologicamente produttiva (di mare e di terra) necessaria a rigenerare le risorse consumate e ad assorbirne i rifiuti*» (Treccani, 2012). Riutilizzare i materiali già in circolazione, detti anche *materia prima seconda*, anziché estrarne di nuovi contribuisce alla riduzione della quantità di terreno utile alla produzione di materia prima, nonché quella utile allo smaltimento dei rifiuti.

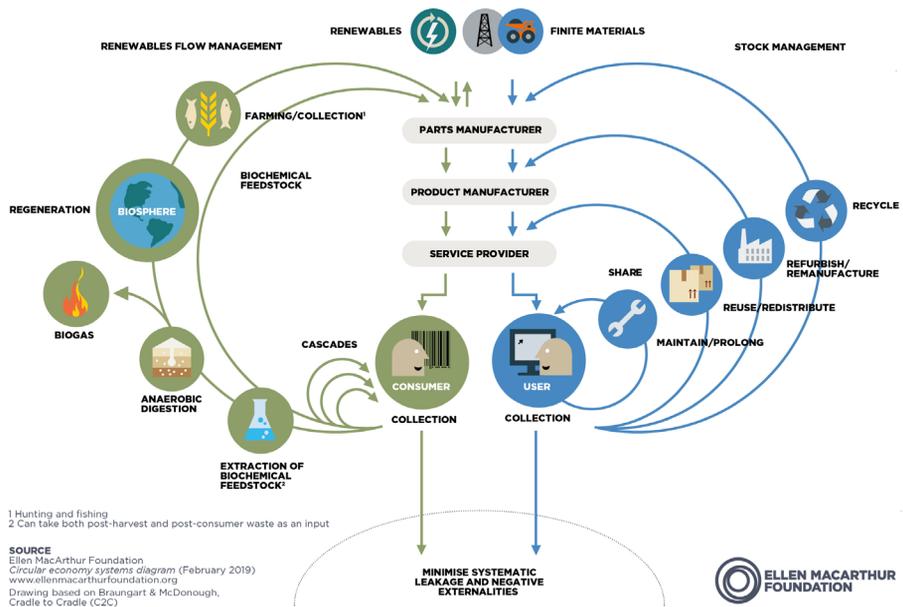
I principi fondamentali dell’economia circolare sono tre:

- *riuso*: significa utilizzare uno stesso oggetto o materiale più volte allo stesso scopo; tale materiale o oggetto non ha bisogno di interventi o azioni preliminari per poter assolvere nuovamente a una funzione;

2.2:  
Confronto tra  
economia lineare e  
circolare - funzio-  
nalità dei materia-  
li nel tempo



2.3:  
Diagramma  
rappresentante  
il flusso ciclico di  
materiali tecnici e  
biologici



- *riciclo*: è il processo attraverso cui un materiale o un oggetto di scarto viene nuovamente trasformato in un prodotto utilizzabile, a volte attraverso la combinazione con materiali vergini;
- *recupero*: significa utilizzare nuovamente un materiale, ma con una parziale perdita delle sue caratteristiche.

Il modello dell'economia circolare rientra nel più vasto concetto di *sviluppo sostenibile*, per il quale l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha adottato nel 2015 l'*Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*, che comprende 17 obiettivi - chiamati *Sustainable Development Goals* - e 169 *target* che riguardano tutti gli aspetti della vita umana. Tali obiettivi devono essere raggiunti da tutti i paesi del mondo entro il 2030 e rappresentano "obiettivi comuni su un insieme di questioni importanti per lo sviluppo" (UNIRC).

Gli obiettivi che riguardano più strettamente l'economia circolare sono:

- 9: imprese, innovazione e infrastrutture
- 11: città e comunità sostenibili
- 12: consumo e produzione responsabili
- 13: lotta contro il cambiamento climatico

Tuttavia, le logiche dell'economia circolare trovano oggi ancora scarsa applicazione, soprattutto se si considera il settore delle costruzioni (uno dei maggiori responsabili di inquinamento ed emissioni di CO<sub>2</sub>). Esistono attualmente professionisti, movimenti e sperimentazioni che si muovono in questa direzione, cercando di costruire opere d'architettura che abbiano il minor impatto possibile e che sfruttino risorse di recupero. In molti casi si cerca di reperire i materiali localmente: scarti di produzione, avanzi di lavorazioni, elementi sostituiti possono talvolta essere trovati in cantieri o aziende nei pressi dell'area di intervento.



2.4:  
*Pannello isolante  
termoacustico  
in lolla di riso e  
legante, Ricehouse*



2.5:  
*Manav Sadhna  
Activity Center:  
CD al posto del  
vetro nella porta* ▶

2.6:  
*Manav Sadhna  
Activity Center:  
bottiglie al posto  
dei mattoni* ◀



Ma il riuso di materiali nel settore delle costruzioni non si estende solamente ai materiali strettamente edili. Esistono diversi esempi di sperimentazione nell'uso di materiali a cui viene attribuita una funzione differente rispetto a quella iniziale – carta, tessuti, bottiglie – e nell'uso di scarti della filiera agricola, come ad esempio isolanti termici, intonaci, sottofondi realizzati con gli scarti della produzione del riso (paglia, pula e lolla).

Iniziano, in generale nel mondo, a muoversi sperimentazioni di edifici in cui vengono usati i materiali più vari per la costruzione, la realizzazione di isolamenti termici o le finiture. Per esempio, le bottiglie di vetro, di plastica o le lattine vengono utilizzate al posto dei mattoni per costruire muri (*Manav Sadhna Activity Center*, Ahmedabad, India, Yatin Pandye), i vecchi tessuti o la carta da macero per l'isolamento interno delle pareti, le finestre per costruire pareti.

Dietro le sperimentazioni pratiche sono però nate anche ricerche teoriche e strumenti per facilitare la raccolta di materiali, lo scambio tra chi ha un surplus di risorse e chi invece le sta cercando.

Ne è un esempio la piattaforma HarvestMap (<http://harvestmap.superuse-studios.com/>), ideata da Cesar Peeren dell'olandese SuperUse Studios: il sito mostra i materiali di scarto provenienti da demolizioni o lavorazioni, stock invenduti e giacenze, indicati su una mappa. Ad oggi la piattaforma è attiva in Olanda, Francia, Belgio, Spagna, Austria, Cina e, da poco, anche in Italia.

Più vicina al contesto di questa tesi, la piattaforma Re-sign (<https://re-sign.it/>), ideata da Francesca Zanotto e Marco Zanini, costituisce uno strumento utile per la condivisione e la valorizzazione di materiali altrimenti destinati a diventare rifiuti. Si tratta dunque di uno spazio virtuale in cui mettere in comunicazione offerta e ricerca di materiali, ma anche di idee e competenze.



2.7:  
Vano scala



2.8:  
Esterno

## *Waste House*, Brighton, 2014

Un esempio virtuoso è la *Waste House*, un edificio a ridotto consumo energetico e costruito per essere permanente, realizzato tra il 2013 e il 2014 nel campus della University of Brighton sulla base di un progetto elaborato dallo studio BBM anche in collaborazione con gli studenti e con esperti nel settore del riuso dei rifiuti. Tra i materiali riutilizzati sono presenti: spazzolini da denti (in parte usati una sola volta dai passeggeri delle classi prima e business dei voli in partenza da Gatwick), scarti provenienti da cantieri, come mattoni, gesso e legname di vario tipo, ma anche rifiuti domestici come jeans e videocassette, usati come isolamento termico, o striscioni pubblicitari in vinile, trasformati in barriere al vapore. Con gesso e argilla di recupero è stato costruito un muro che favorisce l'accumulo di energia solare passiva, rilasciando lentamente il calore accumulato durante le ore di esposizione.

La costruzione dell'edificio, attualmente utilizzato per alcune lezioni, è stata un'occasione per gli studenti di sperimentare concretamente i processi di costruzione, ma con un approccio diverso e innovativo, che vede i rifiuti e gli scarti come materiali con del potenziale ancora inespresso.

Sorprende, più che il recupero di scarti da costruzione, la sperimentazione con materiali totalmente slegati, nella norma, da questo campo. Il risultato è un edificio costruito con l'85% di materiali di scarto, il primo in Europa, che ha ottenuto il livello A – il più alto – della certificazione EPC (Energy Performance Certificate, UK).

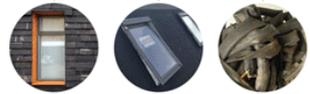
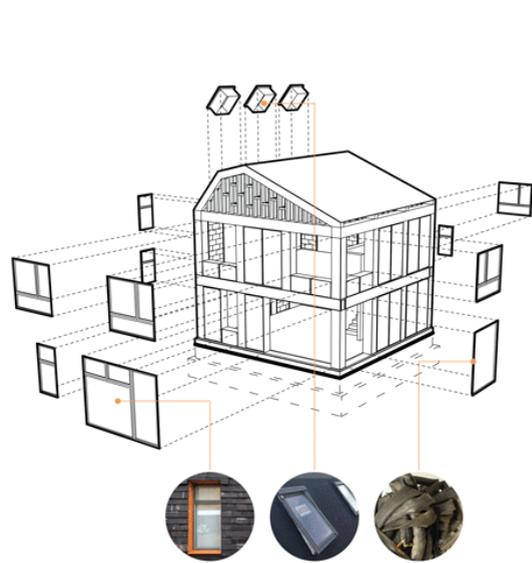
2.9:  
*Il vano scala nella  
Waste House* ▶



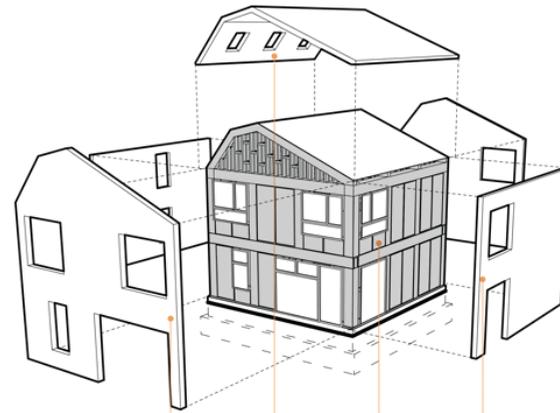
2.10:  
*VHS usate come  
isolante nelle  
pareti* ◀



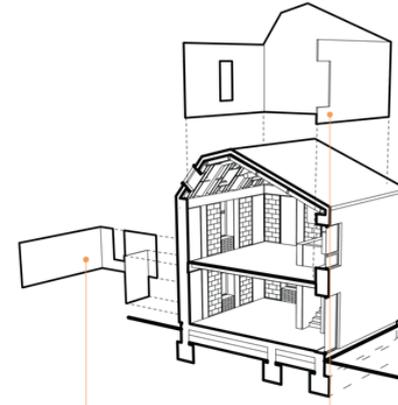
2.11:  
*Spazi interni*



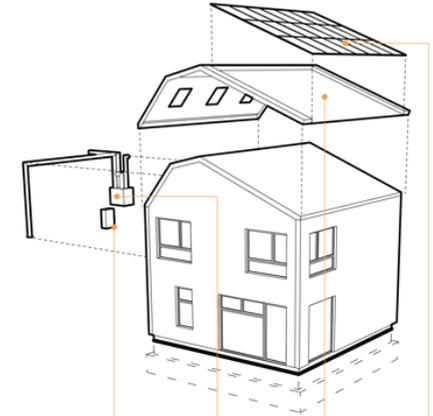
HIGH PERFORMANCE TRIPLE GLAZED UNITS BY RATIONEL - BRAND NEW  
 HIGH PERFORMANCE INTELLIGENT ROOFLIGHTS BY VELUX - BRAND NEW  
 DAMAGED INNERTUBES FORM AIR TIGHTNESS SEALANT



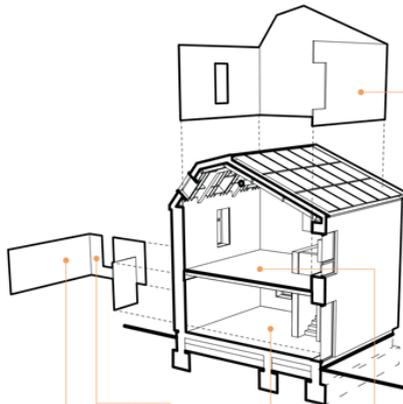
EXTERNAL WALL INSULATION OFFCUTS BY KINGSPAN  
 EXTERNAL ROOF INSULATION OFFCUTS BY KINGSPAN  
 HOUSE WRAP BY TYVEK  
 DAMAGED EXTERNAL WALL INSULATION FROM KINGSPAN



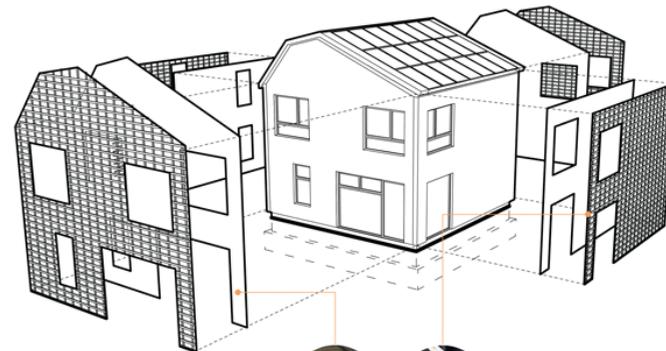
BATTENS FORMED FROM CUT DOWN SALVAGED PLY  
 WASTE EXHIBITION BANNERS FORM VAPOUR CONTROL LAYER



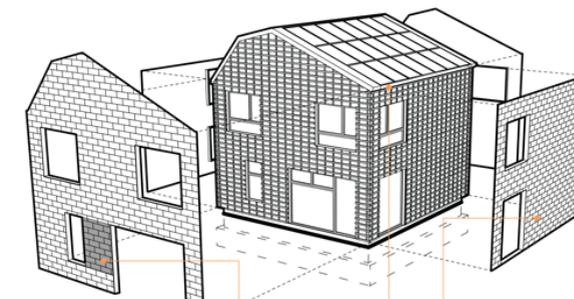
INVERTER FOR PV ARRAY - BRAND NEW  
 SECOND HAND MVHR UNIT FROM VENT AXIA  
 SINGLE-PLY MEMBRANE MADE FROM RECYCLED CAR TYRES  
 4kw PHOTO VOLTAIC ARRAY BY SOUTH DOWNS SOLAR - BRAND NEW



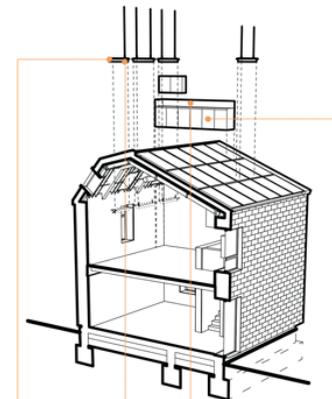
WASTE DAMAGED PLASTERBOARD WITH NEW PLASTER FINISH  
 RE-USED PAINT BY NEWLIFE PAINT  
 WASTE CARPET TILES ON SECOND HAND GALVANISED STEEL RAISED FLOOR SYSTEM  
 35MM THICK WASTE MDF FROM THE WOOD STORE  
 RE-USED PLYWOOD PANELS FROM THE WASTE TOTEM (ECOBUILD 2013)



NEW! TYVEK BREATHABLE MEMBRANE BY DUPONT  
 SALVAGED TIMBER BATTENS AND CROSS



STUDENT PROJECT FEATURE WALL WITH LAMINATED CARPET TILES AND PLASTIC BAGS  
 REJECT PVC GUTTERS AND DOWNPIPES  
 RECLAIMED CARPET TILES AS CLADDING



50 YEAR OLD SOUTH KOREAN CONTAINER SHIP LIGHTS SALVAGED FROM BANGLADESH  
 LOW ENERGY STRIP LIGHT BULBS  
 SURPLUS TILES FROM FREEGLE  
 DISCARDED KITCHEN UNITS FROM FREEGLE

1.1:  
 Fase e  
 materiali



2.13:  
*Dettaglio del muro  
di bottiglie riciclate*



2.14:  
*Foto del cantiere*



2.15:  
*Visione d'insieme  
della parete di  
finestre*

*DESIGN & BUILD WITH 0 KM (LOCAL AND RECYCLED MATERIALS), Chiaravalle (MI), 2018*

Il progetto di seguito presentato è frutto di un workshop di quattro settimane organizzato dallo Studio ARCò in collaborazione con BIØN - Building Impact Zero Network, una rete di collaborazione che si occupa di tecniche costruttive a basso impatto, e il programma Erasmus+.

L'oggetto della progettazione e della costruzione in scala reale è un edificio per l'associazione Casa Chiaravalle, nei pressi di Milano.

L'edificio è stato costruito con materiali reperiti localmente e riciclati. Sono stati usati sacchi in terra locale e bottiglie di vetro per realizzare le pareti e finestre di riuso - reperite in diversi cantieri di ristrutturazione nell'area di Milano - per le parti trasparenti. Sono inoltre state usate delle travi in legno recuperate dalla precedente demolizione di un edificio presente nello stesso sito, per la cui ricostruzione non era stato possibile riutilizzarle.

Le bottiglie di vetro sono state disposte al di sopra dei sacchi di terra e sovrapposte tra loro grazie all'uso di una rete metallica per tenerle in posizione e di malta, rimasta a vista una volta completate le pareti.

La parete di finestre è stata composta fissando le finestre a una nuova struttura in legno. Dove possibile, le finestre sono state mantenute apribili, con lavori di adattamento delle finestre al nuovo telaio dove necessari.



2.16:  
*Visione d'insieme  
della parete di  
terra, bottiglie e  
finestre di riuso*



2.17:  
*Muro in sacchi di  
terra*



2.18:  
*Vista della parete  
di finestre*



2.19:  
*Dettaglio della  
parete di finestre*



# Ricerca dei materiali

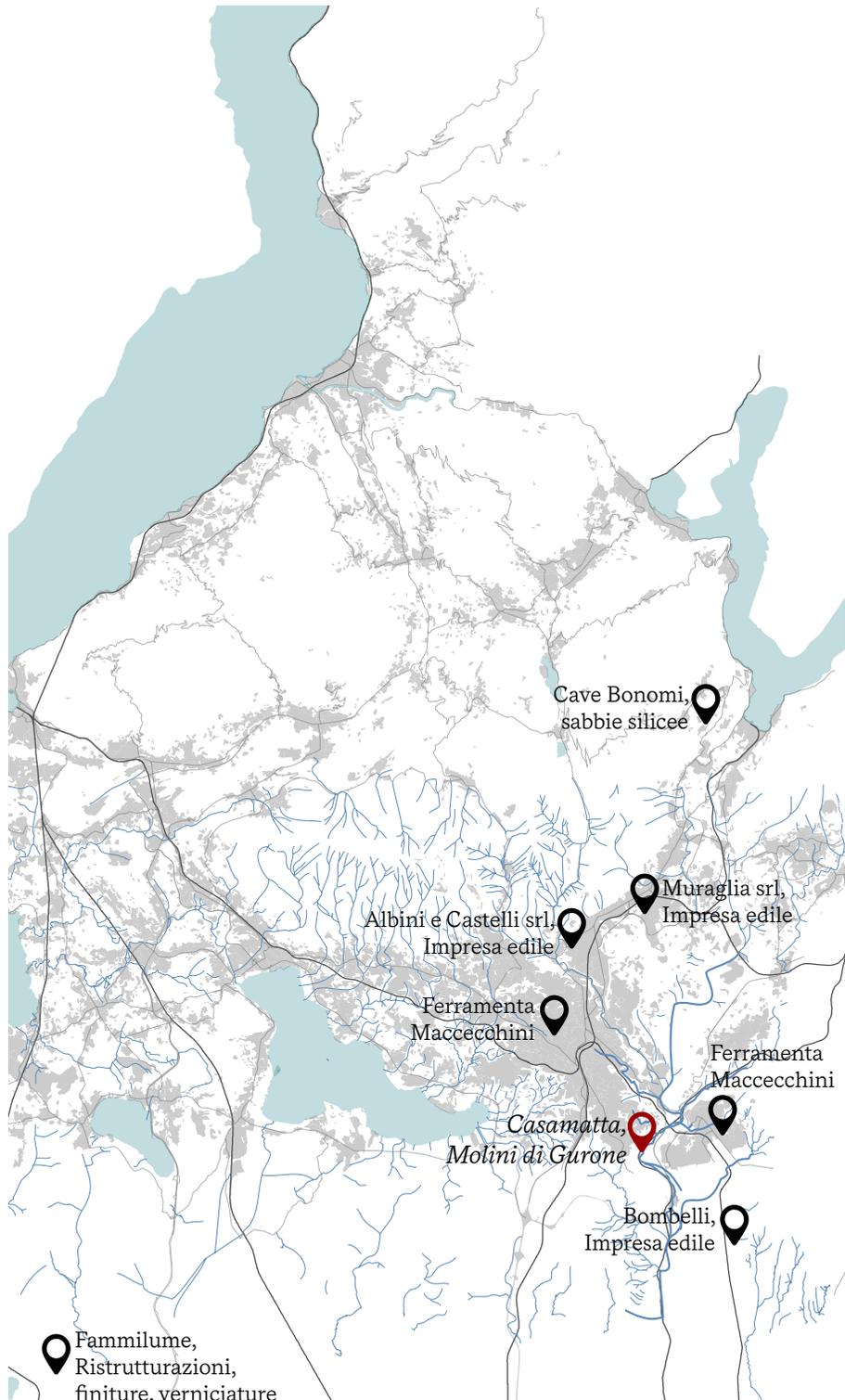
Nel corso dell'esperienza di tesi, in collaborazione con i colleghi del Workshop, è stata effettuata una ricerca di materiali di scarto o in eccesso presso aziende della Provincia di Varese. Sono dunque state contattate oltre 150 imprese, alle quali è stato domandato se disponessero di materiali non più utili nelle loro lavorazioni o produzioni. Tra quelle contattate, erano presenti sia aziende che producevano materiali destinati a ulteriori elaborazioni, che imprese che invece utilizzavano prodotti finiti, come imprese edili.

In molti casi, i nostri messaggi non hanno avuto seguito, ma alcune aziende si sono dimostrate interessate all'iniziativa e al progetto e disponibili a una collaborazione. Va però detto che molti contatti sono stati interrotti in occasione dei passaggi della Lombardia in zona rossa durante gli scorsi mesi di pandemia, e che quindi si è poi verificata l'impossibilità di portare avanti la collaborazione, almeno per il momento.

Tra le aziende disponibili a stabilire una comunicazione con noi, Casamatta e la piattaforma Re-sign, troviamo:

- Fammilume SRL
- Impresa Bombelli
- Albini e Castelli
- Ferramenta Paolo Maccecchini
- Muraglia SRL
- Cave Bonomi SRL

Al momento della conclusione di questa tesi, è stato possibile recuperare alcuni pannelli in fibra di legno forniti dall'azienda Fammilume, in parte da utilizzare nei futuri lavori di realizzazione dell'isolamento interno.



2.20:  
 Mappa della ricerca di materiali

Non inserita nella mappa in figura 3.18 perché non direttamente collegata alla nostra ricerca, l'azienda CBS Serramenti e Infissi, collocata a Gerenzano (VA), ci ha fornito serramenti di recupero. Infatti, l'azienda disponeva di significative quantità di finestre "di scarto" poiché sostituite con nuovi serramenti, prodotti dall'azienda stessa. Le finestre in questione erano tuttavia ancora in ottime condizioni, sostituite semplicemente con finestre più performanti, e sarebbero state destinate allo smaltimento. Mettendole a disposizione nostra e di Casamatta, l'impresa ha contribuito alla ri-circolazione delle risorse, dei materiali e dei prodotti, uno degli obiettivi e dei principi fondamentali di Casamatta.

Nonostante le difficoltà riscontrate nel periodo di restrizioni dovute alla pandemia, si auspica che i rapporti con le aziende contattate possano riprendere, per la prosecuzione del lavoro di tesi parallelo a quello qui presentato o grazie alla conoscenza della piattaforma Re-sign, che ci si augura possa diventare una realtà conosciuta a scala più ampia per ribaltare le logiche dell'economia lineare.



**3**  
DESIGN FOR  
DISASSEMBLY

Alla base dell'economia circolare nel settore delle costruzioni si trovano tuttavia molteplici altri concetti e pratiche, che ne costituiscono il fondamento. Diverse strategie di progetto fanno riferimento al più ampio sistema chiamato Design for Environment, ossia un approccio che punta alla riduzione dell'impronta ecologica delle attività umane – prodotti, processi, servizi – sulla salute e sull'ambiente. Tale approccio è stato sviluppato nel 1990, con la scrittura di alcune linee guida da parte dell'associazione East Meets West, con base a New York. Da qui si è sviluppato un movimento a livello mondiale che cerca di migliorare le strategie di progetto e le tecnologie per ridurre al minimo l'impatto sull'ambiente. L'obiettivo finale è ridurre il costo economico-ambientale per il consumatore, mantenendo però uno sguardo rivolto all'intero ciclo di vita del prodotto.

Una di queste strategie è il Design for Deconstruction (DfD), ossia l'insieme di pratiche che regolano la costruzione degli edifici tenendo conto del loro intero ciclo di vita, fino allo smantellamento. Secondo questo concetto, una costruzione è progettata fin dall'inizio in modo da facilitare futuri cambiamenti e l'eventuale smantellamento del tutto o di alcune parti per il recupero dei sistemi, delle componenti e dei materiali che la compongono (Guy et al., 2008).

I benefici di questo tipo di progettazione sono molteplici, tra cui: riduzione dei rifiuti, riduzione della necessità di trasporto dei materiali, riduzione dell'impatto ambientale delle costruzioni e dell'inquinamento; il Design for Deconstruction promuove flessibilità, convertibilità, addizione e sottrazione negli edifici, cercando di disincentivarne la demolizione totale qualora non rispondano più a determinate esigenze.

Le pratiche del design for deconstruction sono state teorizzate da Bradley Guy negli anni 90, ma non mancano esempi di applicazione di questi concetti anche precedentemente nella storia: il caso più famoso di tutti è il Crystal Palace, costruito nel 1851 a Londra per

ospitare l'Esposizione Universale, in modo da essere completamente smontabile e riasssemblabile altrove, ma si ritrovano pratiche simili anche nell'architettura tradizionale dei templi giapponesi. Di fatto, anche l'International Style presenta tratti in comune con il DfD, come l'uso di materiali puri lasciati a vista e di connessioni enfatizzate e reversibili. Un ulteriore esempio è rappresentato dal Centre Pompidou, che esprime in modo esemplare il concetto di flessibilità, ottenuta grazie al fatto che sono stati portati al di fuori della struttura gli impianti – elettrici, meccanici, idraulici (Guy et al., 2008).

L'attenzione a queste tematiche è però cresciuta molto negli ultimi anni, in relazione alle sempre più centrali questioni climatiche e ambientali, dunque di consumo delle risorse. Negli ultimi anni, infatti, si sta concentrando il dibattito anche sul settore delle costruzioni: uno dei più inquinanti, con un alto livello di consumo delle risorse e una bassa percentuale di riciclo. Il Design for Deconstruction punta quindi a cambiare la fase di progettazione al fine di facilitare futuri cambiamenti nell'edificio e di aumentare la quantità e la qualità dei materiali ottenibili dallo smantellamento dello stesso.

Nel libro *DfD – Design for Disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building*, Guy esplicita dieci principi chiave per il DfD:

- Documentare materiali e metodi per la decostruzione
- Selezionare i materiali usando il principio di precauzione, ossia: i materiali scelti considerando l'impatto futuro e che siano di alta qualità manterranno il loro valore e renderanno maggiormente possibile il loro riutilizzo e riciclo
- Progettare connessioni accessibili – visivamente e fisicamente
- Ridurre al minimo o eliminare le connessioni chimiche

- Usare unioni bullonate, avvitate o inchiodate
- Separare gli impianti meccanico, elettrico e idraulico
- Adattare il progetto al lavoratore e al processo di separazione, ossia: usare materiali leggeri e componenti che possano facilmente essere maneggiati dal lavoratore o con strumenti semplici
- Semplicità della struttura e della forma
- Intercambiabilità
- Processo di decostruzione sicuro

Un'ulteriore corrente legata a questi temi è quella denominata Buildings as material banks (BAMB): si tratta di un progetto inserito nell'ambito di Horizon 2020, il Programma Quadro dell'Unione Europea per la ricerca e l'innovazione per il periodo 2014-2020. Il progetto BAMB mira a contribuire alla transizione circolare del settore delle costruzioni. Secondo la visione di Buildings as Material Banks, gli edifici sono considerati non tanto come "oggetti" conclusi e fini a se stessi, che quindi una volta terminato il ciclo di vita vengono demoliti e i cui pezzi diventano rifiuti, ma piuttosto come depositi di materiali che hanno di per sé un valore, anche se considerati al di fuori del contesto dell'edificio. L'idea di fondo è quindi che i materiali siano solo temporaneamente impiegati nella costruzione degli edifici, ma che il termine della vita utile dell'edificio non necessariamente coincida con il termine della vita dei materiali.

Per rendere possibile il riutilizzo dei materiali, tuttavia, si rende spesso necessario l'utilizzo di tecniche costruttive che consentano lo smontaggio delle componenti, ma queste sono oggi ancora relativamente poco diffuse. Inoltre, il valore dei materiali recuperati non è facilmente stimabile: dipende dal loro stato di conservazione, da quanto le componenti sono standard o su misura – motivo per

cui si sta cercando di incentivare sempre più l'uso di tecnologie a secco, la prefabbricazione e l'uso di elementi standard – e da come i materiali stessi si comportano con il passare del tempo.

In quest'ottica, si cerca di prolungare la vita degli edifici attraverso strategie di riparazione delle parti e di manutenzione. Questo consente di utilizzare i materiali, e le risorse in generale, in modo efficiente, rendendo possibile la sostituzione/riparazione/integrazione della singola parte, anziché del tutto. In questi termini, la strategia forse più efficiente di tutte è il riuso degli edifici già costruiti, riadattandoli alle nuove esigenze.

A più ampia scala, gli stessi principi possono essere applicati alla città: l'Urban mining si occupa della gestione sistematica delle risorse generate dalle attività umane e dei relativi rifiuti.

L'urban mining vede le città, gli edifici e l'ambiente costruito nei suoi diversi aspetti come miniera di materiali, ossia come deposito di risorse riutilizzabili una volta terminato il loro impiego nel contesto di partenza. Nuovamente, l'obiettivo è quello di ridurre le emissioni di gas serra generati dalle costruzioni favorendo l'utilizzo di materiali da fonti locali, ridurre la quantità di materiali che finiscono nelle discariche e incentivare l'uso di materiali ambientalmente sostenibili (GBC Italia, 2019).

# What are the underlying principles?

The 15 principles have been developed as guidelines and strategies for implementing reuse and circular economy in the building industry. Source: Building a Circular Future

### Design for Disassembly

- Materials**  
Select materials with properties that ensure their recyclability.
- Service**  
The building must be designed with a focus on its entire life span.
- Standards**  
Design a simple building that fits into a 'larger and coherent' system.
- Connections**  
Design reversible connections that can be disassembled and reused several times.
- Disassembly**  
A schedule for the disassembly is essential as well as a schedule for the assembly.

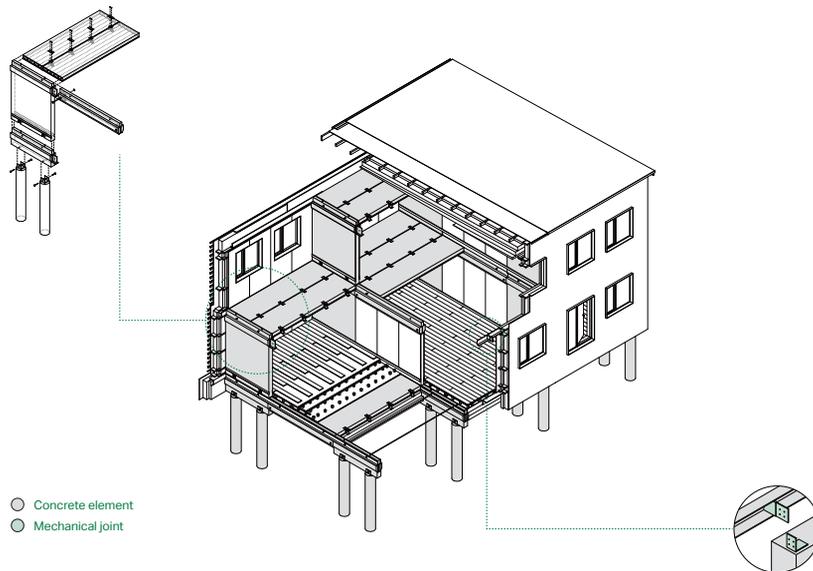
### Material ID

- Documentation**  
To secure the quality and value of the materials and resources, documentation in all phases is essential.
- Identification**  
Physical identification of the single element is important to gather the right information.
- Maintenance**  
To secure the value of the material, correct maintenance is essential.
- Safety**  
Maintenance of safety procedures through the entire lifespan of the building.
- Transition**  
Gather the necessary information of how the different materials should be handled through transitions.

### Circular Economy

- New businessmodels**  
To complete the circle of circular economy new businessmodels must be developed.
- Incentive**  
All parties in the supply chain must have a positive financial return.
- New models**  
Instead of creating new products, business models must be based on offering customer service instead.
- Partnership**  
Partnerships and cooperation agreements are necessary as no one can operate a circular economy alone.
- Circulation**  
The value in the products in the biological and technical circuits must be maintained as long as possible.

3.1:  
*Principi alla base del progetto*



3.2:  
*Sistema costruttivo della Circle House*

## *Circle House, Aarhus, 2018*

Il progetto *Circle House* prevede la realizzazione, in una zona periferica a nord della città di Aarhus, Danimarca, di 60 unità abitative di edilizia convenzionata; è stato sviluppato in collaborazione tra quattro diversi studi di architettura: Vandkunsten, Lendager Arkitekter, 3XN Arkitekter e GXN Innovation, che hanno contribuito, con i propri approcci, a un progetto vario.

La particolarità di questo progetto sta nell'obiettivo del progetto: il 90% dei materiali dovrebbe essere riutilizzabile senza perdita di valore nel tempo. Il progetto include case a due e tre piani ed edifici per appartamenti di cinque piani.

L'intervento si basa su diversi principi, suddivisi in tre categorie:

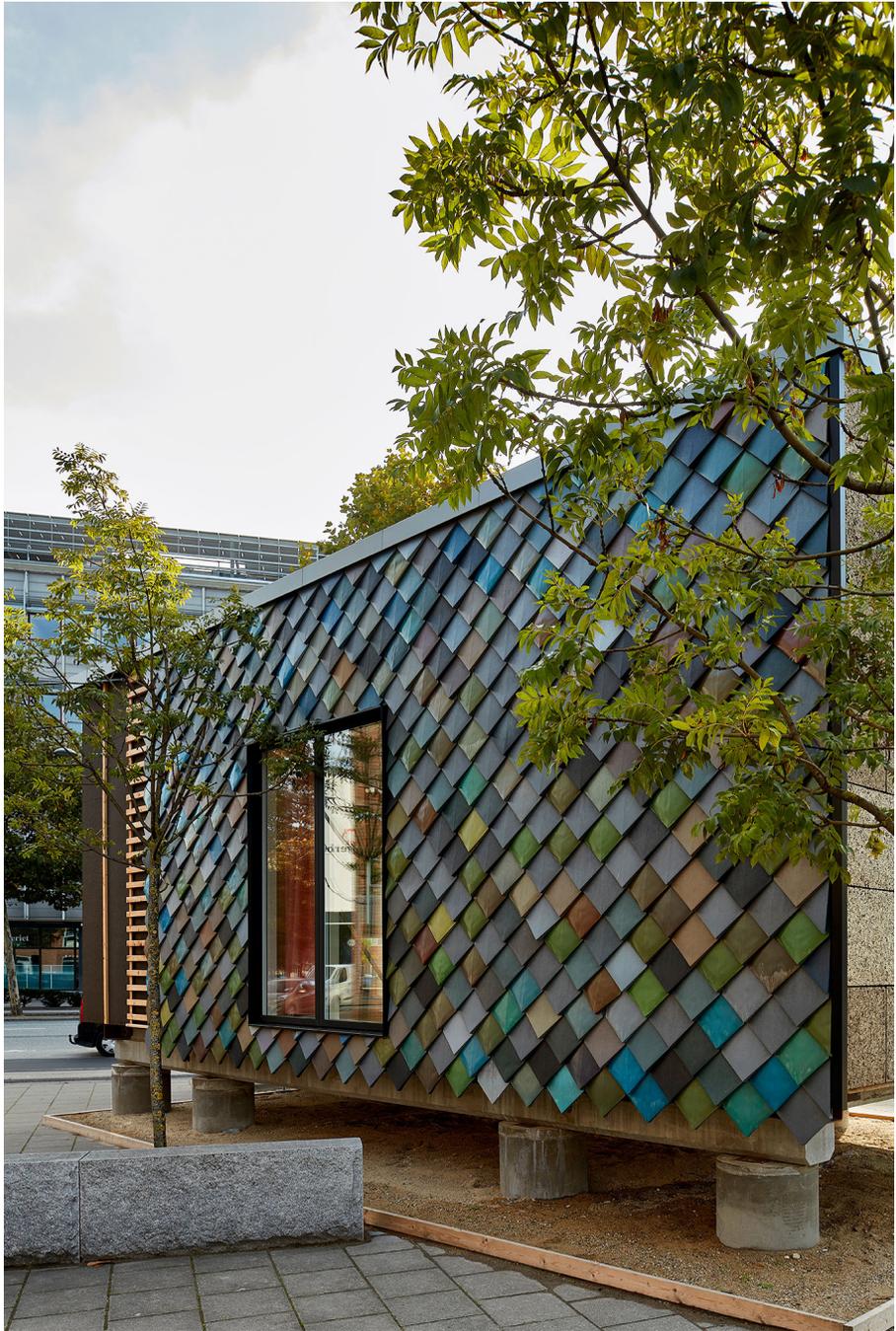
- Design for Disassembly
- Material ID
- Circular Economy

Circle House vuole provare che la circolarità nell'architettura è possibile, oggi.

L'edificio usa componenti modulari prefabbricati in calcestruzzo armato, con elementi di giunzione in metallo. I rivestimenti della facciata sono fissati tramite viti o telai, che facilitano la posa, ma anche il riuso. Definito il sistema di assemblaggio, di fatto si può usare qualunque materiale.

Un prototipo di Circle House è stato costruito a Copenhagen: è un modello in scala 1:1, uno spazio espositivo che mostra sistema costruttivo, materiali e prodotti utilizzati. Si pone anche come catalogo di soluzioni di riciclo esistenti, con l'obiettivo di farle conoscere a un pubblico il più possibile vasto.

Le scandole del rivestimento sono realizzate in plastica riciclata,



3.3:  
*Circle House  
Demonstrator,  
Copenhagen*

tutte di colori diversi, o in materiali documentati da un passaporto che ne certifica il contenuto.

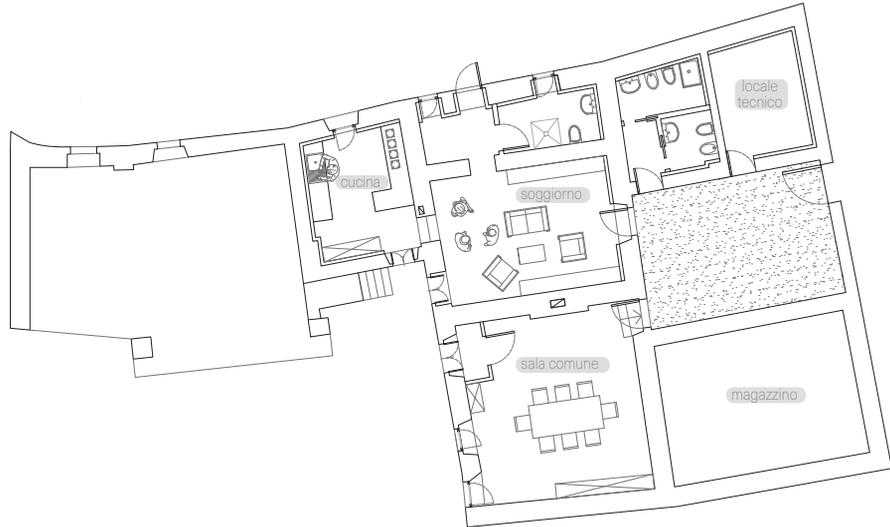
La struttura, come detto, è realizzata in calcestruzzo armato prefabbricato: l'assemblaggio è stato rapido e potrà essere smontata per riutilizzare le componenti nella costruzione del progetto definitivo.

Tutte le componenti dell'edificio sono progettate secondo i principi del Design for Disassembly

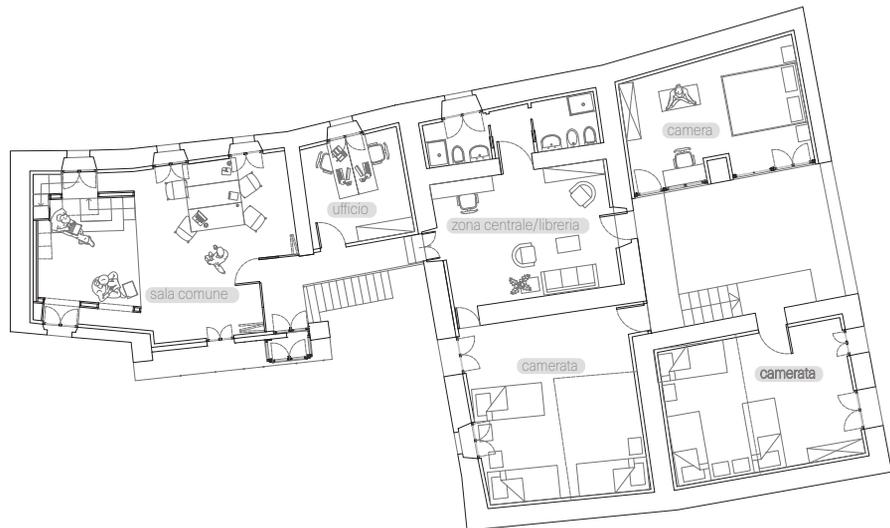


**4**  
**GLI SPAZI DI  
CASAMATTA**

4.1:  
Pianta piano terra  
- stato di progetto.  
Include i progetti  
futuri per Casa-  
matta



4.2:  
Pianta piano  
primo - stato di  
progetto. Include i  
progetti futuri per  
Casamatta e quelli  
elaborati nella tesi



# Organizzazione degli spazi

A seguito dei primi sopralluoghi a Casamatta, dopo aver sentito i racconti sulle intenzioni e i progetti per gli spazi, la prima azione progettuale è stata quella di definire le funzioni da attribuire a ciascuno spazio nell'edificio.

Nelle idee dei committenti, gli spazi sono fondamentali sono: un soggiorno comune, aperto a tutti; una cucina, attrezzata con arredi professionali per consentire la preparazione di alimenti da poter vendere; una sala per conferenze e lezioni di educazione ambientale; degli spazi destinati a ostello; uno spazio per una sede permanente di Legambiente.

Si è quindi pensato di posizionare gli spazi più pubblici, quelli destinati all'accoglienza di persone in occasione di eventi particolari, al piano terra; questa collocazione consente, inoltre, anche di sfruttare al meglio il piccolo patio interno e il giardino sul retro, ampio e suggestivo grazie alle visibili tracce dei mulini e della roggia molinara.

Al piano superiore sono invece previsti l'ufficio e gli spazi più strettamente collegati all'ostello: le stanze, un soggiorno, la sala comune - che all'occorrenza può diventare sala riunioni.

L'idea di fondo per i lavori di tesi era che contribuissero allo sviluppo degli spazi con piccoli progetti "puntuali" e costruibili, come già detto, con materiali di recupero e in autocostruzione. I progetti presentati in questo elaborato di tesi non riguardano però solo l'organizzazione degli spazi in sé, quindi il funzionamento degli spazi interni, ma anche alcune questioni concernenti l'involucro.

Il lavoro è dunque partito dall'individuazione dello spazio su cui intervenire e dalla definizione del tipo di intervento.



4.3:  
*Lo spazio destinato  
 a ostello, al primo  
 piano*



4.4:  
*Lo spazio della ex  
 legnaia, destinato  
 a camera o casa del  
 custode* >



4.5:  
*Il giardino interno* <



4.6:  
*Lo spazio destinato  
a cucina*



4.7:  
*Lo spazio destinato  
a soggiorno / bi-  
blioteca*



4.8:  
*Il giardino - ex  
roggia molinara*



4.9:  
4.10:  
4.11:  
4.12:  
*La sala  
comune*

## Lo spazio della tesi

A seguito dei sopralluoghi, ho individuato come più suggestivo e interessante il grande spazio, ancora indefinito, situato al primo piano, in cima alla scala (da qui in poi denominato *sala comune*). Si tratta dello spazio che i volontari di Casamatta immaginano come sala comune dedicata alle riunioni e alle lezioni dei campi di volontariato ambientale.

Per questo spazio è stata quindi immaginata un'organizzazione, trattata nel capitolo 6, che accolga diverse funzioni, compreso uno spazio comune per l'ostello. Si è dunque cercato di trattare lo spazio come un ambiente flessibile, progettando interventi che siano semplici da realizzare, reversibili e che garantiscano una varietà di configurazioni necessaria in uno spazio polifunzionale.

Su questo stesso spazio è stato sviluppato anche il tema dell'involucro, elemento di primaria importanza per poter definire gli interventi successivi. La parte dell'involucro maggiormente affrontata è stata quella delle chiusure trasparenti, e in particolare dell'utilizzo di finestre di recupero, adattate a diverse casistiche e configurazioni.

Un'ulteriore sezione fondamentale è stata quella relativa ai calcoli strutturali per verificare la resistenza degli elementi presenti. Tali verifiche sono state effettuate per l'ambiente individuato per lo svolgimento del lavoro di tesi, anche e soprattutto in ragione del fatto che gli elementi strutturali di questa parte dell'edificio sono quelli che presentano maggiori apparenze di degrado.



**5**  
**VERIFICHE**  
**STRUTTURALI**  
*del solaio e del tetto*

5.1:  
*Il tetto*



5.2:  
*Rinforzo della  
capriata*



## Descrizione della struttura

La struttura dell'edificio è costituita da murature in laterizio e ciottoli e da solai e tetto in legno. Le murature presentano parti resistenti, caratterizzate da una maggiore regolarità, e parti di riempimento, caratterizzate da uso di materiali differenti con disposizione irregolare.

Tutti i solai sono costituiti da travi in legno, al di sopra delle quali si trova un assito.

Il tetto, anch'esso in legno, è appoggiato su una struttura irregolare costituita da travi e capriate. Infatti, è presente una sola capriata completa, costituita da due puntoni, un monaco e una catena. A causa dell'avanzato stato di degrado della trave che costituisce la catena, è stato necessario, nelle prime fasi della ristrutturazione, aggiungere due travetti in acciaio a C paralleli alla catena che ne svolgano la funzione, lasciando però la trave originaria, che continua a costituire l'appoggio della capriata sulla muratura. Sia la trave di colmo che le terzere appoggiano in più punti: in alcuni casi direttamente sulle murature, in altri su puntoni. A differenza della trave di colmo, che è continua per tutti i 12,8 m circa della linea di colmo delle due falde che sostiene, le terzere si interrompono in diversi punti e hanno quindi luci inferiori.

Il solaio esaminato nei calcoli strutturali è composto da un assito, appoggiato su travi secondarie, rette dalla muratura a un'estremità e da una trave principale all'altra. Il solaio è quindi diviso in due aree da una trave posta in posizione decentrata: le travi secondarie hanno quindi luci diverse da un lato e dall'altro. La trave principale, a sua volta, è retta a un'estremità dalla muratura e da un pilastro in mattoni dall'altro, ma ha anche un ulteriore appoggio, in posizione decentrata, costituito da un pilastro in calcestruzzo, probabilmente aggiunto in un momento secondario.

5.3:  
*Il solaio inferiore  
della sala comune*



5.4:  
*Dettaglio del solaio*





5.5:  
*Muratura della  
facciata rivolta  
verso l'ex roggia*



5.6:  
*Muratura nel  
patio interno*

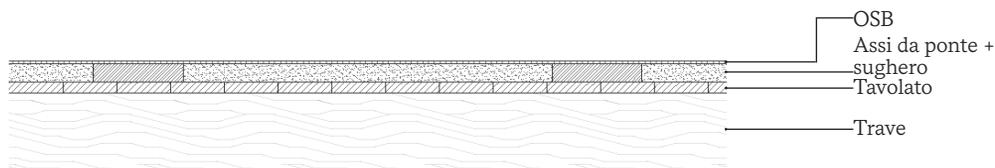


## **5.1** *Verifica del solaio*



La prima operazione per le verifiche strutturali è stata la definizione dei carichi agenti sul solaio, quindi la sua stratigrafia.

Il solaio è composto da travi secondarie a sezione quadrata (semplificazione ai fini del calcolo) di lato 220 mm, un tavolato da 30 mm, assi da ponte da 50 mm rasate con sughero granulato e infine uno strato di OSB da 9 mm, come da fig. 5.1. Si riportano di seguito i carichi derivanti da ciascun elemento:



5.7:  
Sezione del solaio

	pesi specifici [kg/m <sup>3</sup> ]	pesi specifici [kN/m <sup>3</sup> ]	spessore [m]	pesi / m <sup>2</sup> [kN/m <sup>2</sup> ]
OSB	650	6.3765	0.009	0.057
assi ponte	450	4.4145	0.05	0.221
tavolato	450	4.4145	0.03	0.132
sughero	90	0.8829	0.05	0.044
			sezione [m <sup>2</sup> ]	peso al m [kN/m]
travi secondarie	825	8.0933	0.048	0.392

Tab. 5.1:  
Calcolo dei pesi  
degli elementi del  
solaio

Per i carichi costituiti da sughero granulato e assi da ponte si è effettuata una media dei due pesi, ponderata rispetto alle quantità dell'uno e dell'altro materiale presenti nel solaio. I carichi permanenti non strutturali risultano quindi essere la somma dei carichi derivanti dall'OSB e della media tra sughero e assi da ponte.

Per la definizione dei carichi accidentali dovuti alla destinazione d'uso si è scelta la categoria A – Ambienti ad uso

residenziale, secondo l'attuale funzione dell'edificio. I valori dei sovraccarichi sono dunque 2 kN/m<sup>2</sup>.

Si è poi proceduto alla definizione delle resistenze di calcolo a flessione e a taglio, date rispettivamente dalle seguenti formule:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M}$$

Tali valori sono poi stati ridotti di un fattore 1,35, dato dalle NTC 2018, capitolo sugli edifici esistenti, e corrispondente a un livello di conoscenza LC1, ossia il più basso (scarsa conoscenza di materiali e connessioni). Le formule finali sono dunque le seguenti:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M \cdot 1,35}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M \cdot 1,35}$$

La struttura in questione è stata assegnata alla classe di servizio I (vd. tab. 5.2, 5.3):

Tab. 4.4.II - Classi di servizio

Classe di servizio 1	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 2	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 3	È caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.

Tab. 5.2:  
Classi di servizio

Tab. 4.4.III - Coefficienti parziali  $\gamma_M$  per le proprietà dei materiali

Stati limite ultimi	Colonna A $\gamma_M$	Colonna B $\gamma_M$
<b>combinazioni fondamentali</b>		
legno massiccio	1,50	1,45
legno lamellare incollato	1,45	1,35
pannelli di tavole incollate a strati incrociati	1,45	1,35
pannelli di particelle o di fibre	1,50	1,40
LVL, compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40	1,30
unioni	1,50	1,40
<b>combinazioni eccezionali</b>	1,00	1,00
Per i materiali non compresi nella Tabella si potrà fare riferimento ai pertinenti valori riportati nei riferimenti tecnici di comprovata validità indicati nel Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle presenti norme.		

Tab. 5.3:  
Coefficienti  $\gamma_M$   
per le proprietà dei  
materiali

A seguito di sopralluoghi, analisi e ricerche sulle specie legnose più comunemente utilizzate per le costruzioni nell'area di Varese, si ipotizza che gli elementi strutturali siano in legno di quercia. Sono dunque stati presi in considerazione i seguenti valori:

$$f_{m,k} = 42 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{v,k} = 4 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{mod} = 0,9$$

Tab. 4.4.IV - Valori di  $k_{mod}$  per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico					
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea	
Legno massiccio Legno lamellare incollato (*) LVL	UNI EN 14081-1 UNI EN 14080 UNI EN 14374, UNI EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Compensato	UNI EN 636:2015	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Pannello di scaglie orientate (OSB)	UNI EN 300:2006	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		OSB/3	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle (truciolare)	UNI EN 312 :2010	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Parti 6, 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, pannelli duri	UNI EN 622-2:2005	HB LA, HB HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		HB HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Pannello di fibre, pannelli semiduri	UNI EN 622-3:2005	MBH LA1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		MBH HLS1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	-	-	-	0,45	0,80	
Pannello di fibra di legno, ottenuto per via secca (MDF)	UNI EN 622-5:2010	MDF LA, MDF HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		MDF HLS	2	-	-	-	0,45	0,80

Per i materiali non compresi nella Tabella si potrà fare riferimento ai pertinenti valori riportati nei riferimenti tecnici di comprovata validità indicati nel Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle presenti norme.

(\*) I valori indicati si possono adottare anche per i pannelli di tavole incollate a strati incrociati, ma limitatamente alle classi di servizio 1 e 2.

Tab. 5.4:  
Valori di  $k_{mod}$  per  
legno

$$\gamma_M = 1,5$$

Per  $k_{mod}$  si vedano i dati in tab. 5.4: facendo riferimento al legno massiccio, la durata della combinazione di carico è assegnata dal carico di minor durata, che è la destinazione d'uso. Per durata breve si ottiene dunque  $k_{mod} = 0,9$ .

Dunque risulta:

$$f_{m,d} = 18,667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = 1,778 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

## Trave secondaria

Si è quindi passati alla verifica allo stato limite ultimo, eseguendo il calcolo della combinazione fondamentale delle azioni secondo l'approccio 2, colonna A1 della tabella 2.6.I (p.44, NTC 2018):

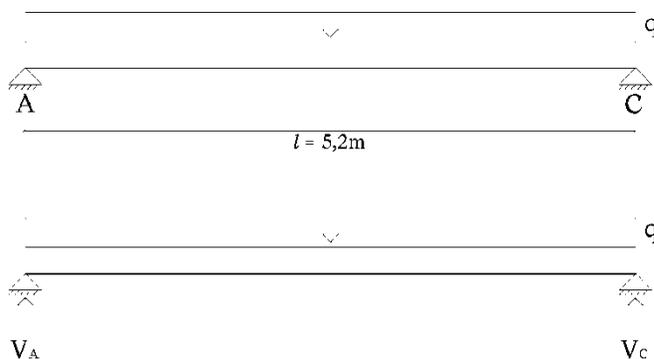
$$f_d = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_1$$
$$f_d = 1,3 \cdot 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,5 \cdot 0,197 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,5 \cdot 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 3,77 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ai fini del calcolo della resistenza delle travi del solaio in oggetto, è stata considerata unicamente la trave con l'area di influenza più sfavorevole – di ampiezza pari a  $i = 1,36 \text{ m}$  – con l'obiettivo di determinare il comportamento della trave nella condizione peggiore possibile.

Il carico agente su tale trave risulta:

$$q_d = f_d \cdot i = 3,77 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,36 \text{ m} = 5,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Il passaggio successivo è stato il calcolo delle sollecitazioni sulla singola trave, previa definizione dello schema statico: un elemento doppiamente appoggiato con carico distribuito.



5.8:  
Schema statico della trave secondaria

Per la risoluzione si considerano i seguenti valori tabulati:

$$M_{max} = \frac{ql^2}{8}$$

$$V_A = V_B = \frac{ql}{2}$$

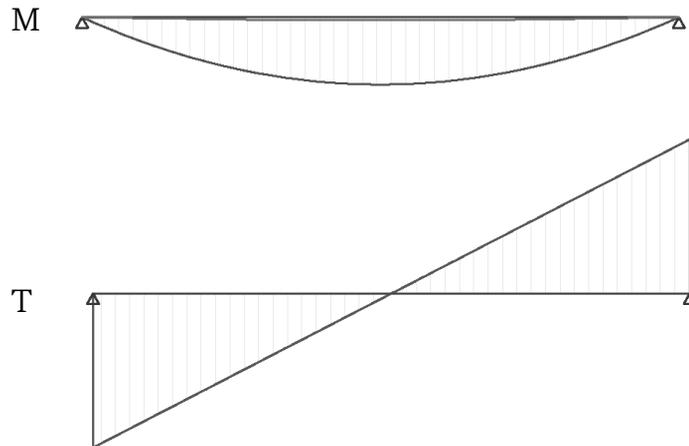
$$f_{max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EJ}$$

Da cui:

$$M_{Ed}^{SLU} = 17,363 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$T_{Ed}^{SLU} = 16,994 \text{ kN}$$

Sono riportati di seguito i diagrammi di momento e taglio:



5.9:  
*Diagrammi di  
momento e taglio  
della trave secon-  
daria*

Seguono il calcolo del modulo di resistenza e dell'area della sezione:

$$w = \frac{h^3}{6}$$

$$w = 1774666.667 \text{ mm}^3$$

$$A = 0,0484 \text{ m}^2$$

Per la prova di resistenza a taglio si è calcolato:

$$T_{Ed} = \frac{ql}{2}$$

e quindi lo sforzo di taglio:

$$\tau = \frac{S \cdot T_{Ed}}{J \cdot b},$$

Dove  $S$  e  $J$  sono rispettivamente momento statico e momento di inerzia,  $b$  è la corda della sezione della trave (nel nostro caso,  $b = h$ ).

Usando l'assunzione semplificatoria di sezione quadrata, la formula sopra è semplificabile in:

$$\tau_{d,max} = \frac{3 V_{Ed}}{2 bh}$$

Dai cui risulta che

$$\tau_{d,max} = 0,4139 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 1,778 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

La verifica per la resistenza a taglio è pertanto soddisfatta.

Per la prova di resistenza a flessione si è calcolato:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{MAX}^{int}}{W_{sez}}$$

Si impone che:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{K_{crit,m} \cdot f_{md}} < 1$$

dove il coefficiente per instabilità flesso-tensionale,  $k_{crit,m}$ , è calcolato come:

$$K_{crit,m} = \begin{cases} 1, & \text{se } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m}, & \text{se } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1/(\lambda_{rel,m})^2, & \text{se } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

La snellezza relativa della trave  $\lambda_{rel,m}$  si calcola come:

$$\lambda_{rel,m} = \frac{L_0}{i \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{mk}}{E_{0,05}}},$$

essendo  $E_{0,05}$  il modulo elastico relativo al frattile 5%: per il legno di quercia, il valore tabulato è 10,1 kN/mm<sup>2</sup>

Si considera  $L_0$  pari alla porzione di trave compresa tra due appoggi, in questo caso pari all'intera trave, di lunghezza  $l = 5,2$  m

Il raggio di inerzia della sezione si calcola come

$$i = \sqrt{\frac{J}{A}}$$

Con il momento di inerzia paria a

$$J = \frac{bh^3}{12}$$

Si riportano di seguito i valori delle precedenti grandezze:

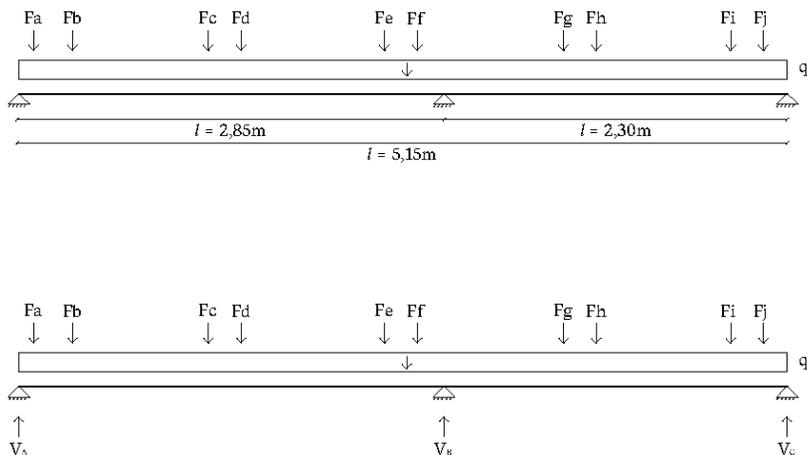
mom. inerzia [m <sup>4</sup> ]	0.0002
sez. [m <sup>2</sup> ]	0.048
r. girat. di inerzia [m]	0.064
lung. libera infl. [m]	5.200
lambda crit,m	0.756
k crit	0.993
$\sigma_k$ [N/mm <sup>2</sup> ]	9.784
$\sigma_k / (k_{crit} \cdot f_{md})$	0.528

Tab. 5.5:  
Proprietà trave  
secondaria

Dato che  $\sigma_k / (f_{m,d} \cdot k_{crit}) < 1$ , la verifica a flessione risulta soddisfatta.

# Trave principale

Sono dunque stati eseguiti gli stessi passaggi per la risoluzione della trave primaria, il cui schema statico è il seguente:



5.10:  
Schema statico della trave principale

Sulla trave primaria agiscono un carico distribuito  $q$  corrispondente al peso proprio della trave stessa e dieci carichi concentrati  $F_x$ , corrispondenti alle reazioni vincolari delle travi secondarie appoggiate al di sopra.

In questo caso, la sezione della trave risulta essere quadrata e di lato 300 mm.

Le reazioni vincolari delle travi secondarie corrispondono alla combinazione dei carichi allo SLU, mentre la componente del peso proprio della trave primaria viene moltiplicata per  $\gamma_{G1} = 1.3$ . Tabella 5.6 riporta i valori dei carichi puntuali e la distanza del loro punto di applicazione dal nodo A.

a [m]	0.1	Fa [kN]	2.788
b [m]	0.36	Fb [kN]	4.731
c [m]	1.27	Fc [kN]	13.445
d [m]	1.49	Fd [kN]	7.287

Tab. 5.6:  
Valori dei carichi  
puntuali e loro  
distanze assolute  
dal nodo A

e [m]	2.58	Fe [kN]	11.410
f [m]	2.8	Ff [kN]	9.573
g [m]	3.65	Fg [kN]	11.587
h [m]	3.87	Fh [kN]	9.359
i [m]	4.77	Fi [kN]	10.525
j [m]	4.99	Fj [kN]	8.215

Tabella 5.7 riporta invece i valori caratteristici e le proprietà geometriche della trave:

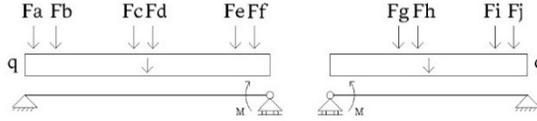
peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	8.093
lato sezione [m]	0.3
sez. [mq]	0.09
Peso/m * 1.35 [kN/m]	0.983
L1 [m]	2.85
L2 [m]	2.3
Luce [m]	5.15
Modulo w [mm <sup>3</sup> ]	4500000
E <sub>0.05</sub> [kN/mm <sup>2</sup> ]	10.1
r. girat. di inerzia [m]	0.087

Tab. 5.7:  
Proprietà trave  
principale

Nel seguito, affrontando le verifiche di resistenza del tetto, semplificheremo spesso un gran numero di azioni puntuali di intensità simile e distribuzione spaziale omogenea con dei carichi distribuiti. In questo caso però – data la sensibile differenza tra i valori delle azioni puntuali e la loro distribuzione non omogenea lungo la trave – si è ritenuto più prudente considerare il singolo contributo di ciascuna azione.

La struttura risulta iperstatica rispetto alla combinazione di carico assegnata: dovendo determinare il valore di tre reazioni incognite, possiamo in realtà servirci solo del bilancio delle forze verticali e dei momenti. Per ottenere un vincolo ulteriore, si è ricorsi alle equazioni di congruenza, inserendo una cerniera interna alla trave in corrispondenza dell'appoggio in B e una

coppia di momento che annulli la rotazione relativa tra i segmenti AB e BC della trave, come in fig. 5.11:



5.11:  
Metodo di risoluzione della trave principale

La rotazione relativa tra i due segmenti in B è data da:

1. Il momento  $M$  applicato nel nodo:

$$\Delta\varphi_B(M) = -\frac{Ml_1}{3EJ} - \frac{Ml_2}{3EJ} = -\frac{ML}{3EJ}$$

dove  $L = l_1 + l_2$  è la luce della trave,  $J$  il momento di inerzia ed  $E$  il modulo elastico.

2. Il peso proprio  $q$  dei due segmenti:

$$\Delta\varphi_B(q) = \frac{ql_1^3}{24EJ} - \left(-\frac{ql_2^3}{24EJ}\right) = \frac{q(l_1^3 + l_2^3)}{24EJ}$$

3. I contributi di tutte le azioni puntuali sul tratto AB:

$$\Delta\varphi_B(F_{AB}) = \frac{1}{6l_1} [F_a \cdot a \cdot (l_1^2 - a^2) + \dots + F_f \cdot f \cdot (l_1^2 - f^2)]$$

4. I contributi di tutte le azioni puntuali sul tratto BC:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_B(F_{BC}) \\ = \frac{1}{6l_2} \left[ F_g \cdot (L - g) \cdot (l_2^2 - (L - g)^2) + \dots + \right. \\ \left. + F_j \cdot (L - j) \cdot (l_2^2 - (L - j)^2) \right] \end{aligned}$$

Imponendo dunque che la rotazione totale sia nulla, troviamo:

$$\begin{aligned} M = & \frac{q}{8} \frac{l_1^3 + l_2^3}{L} \\ & + \frac{F_a a (l_1^2 - a^2) + \dots + F_f f (l_1^2 - f^2)}{2l_1 L} \\ & + \frac{F_g (L - g) (l_2^2 - (L - g)^2) + \dots + F_j (L - j) (l_2^2 - (L - j)^2)}{2l_2 L} \end{aligned}$$

A questo punto,  $V_A$  e  $V_C$  si trovano imponendo il bilanciamento dei momenti in B sui segmenti di trave AB e BC. Così si ottiene:

$$V_A = \frac{ql_1}{2} + \frac{F_a(l_1 - a) + \dots + F_f(l_1 - f)}{l_1} - \frac{M}{l_1}$$

$$V_C = \frac{ql_2}{2} + \frac{F_g(g - l_1) + \dots + F_j(j - l_1)}{l_2} - \frac{M}{l_2}$$

Infine, possiamo ottenere  $V_B$  imponendo che le azioni verticali siano bilanciate:

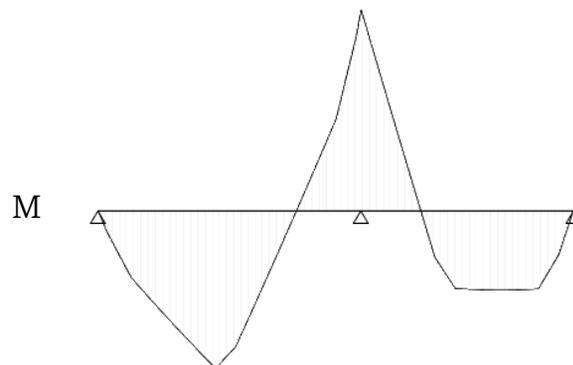
$$V_B = F_a + F_b + \dots + F_j + qL - V_A - V_C$$

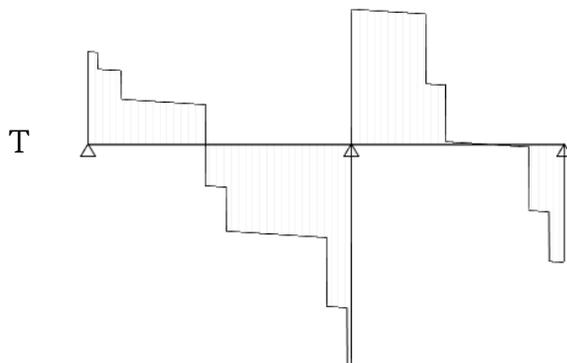
I valori numerici ottenuti sono riportati in tab. 5.8:

M [kN*m]	14.319
Va [kN]	15.380
Vb [kN]	59.088
Vc [kN]	19.516

Tab. 5.8:  
Reazioni vincolari  
e momento della  
trave principale

Noti questi valori, è stato possibile tracciare i diagrammi delle azioni interne di momento e taglio, che sono raffigurati in fig. 5.12. L'irregolarità di entrambi i grafici è dovuta alla presenza di azioni puntuali





5.12:  
 Diagrammi di  
 momento (página  
 precedente) e  
 taglio della trave  
 principale

Come si può osservare, i valori massimi per taglio e momento si hanno in corrispondenza del nodo B. Questi valori sono stati utilizzati per le verifiche di resistenza, riportate in tab. 5.9:

VERIFICA TAGLIO	
$T_{Ed}$ [kN]	36.656
$\tau$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.611
$k_{mod}$	0.9
$f_{v,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	4
$f_{v,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1.778
$\tau / f_{v,d}$	0.344
VERIFICA FLESSIONE	
$M_{Ed}$ [kN*m]	14.319
$\sigma_k$ [N/mm <sup>2</sup> ]	3.182
Snell. relat. fless. ( $\lambda_{rel,m}$ )	0.676
$k_{crit}$	1.000
$k_{mod}$	0.9
$f_{m,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	42
$f_{m,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	18.667
$\sigma_k / (k_{crit} * f_{m,d})$	0.170

Tab. 5.9:  
 Verifiche a taglio e  
 flessione

Entrambe le verifiche risultano soddisfatte.



## **5.2** *Verifica del tetto*



# Travetto

Il travetto è stato il primo elemento sottoposto a verifica, essendo il primo elemento strutturale a ricevere carichi.

Come in precedenza, sono stati innanzitutto calcolati i carichi agenti su tale elemento, attraverso la definizione della stratigrafia del tetto, attualmente composto da: un assito di spessore 30 mm al di sopra dei travetti, una guaina impermeabilizzante, uno strato di listelli e controlistelli da 40x40 mm e infine i coppi.

Carichi:	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coppi			60	0.59
Guaina impermeabilizzante				0.03
Listelli+controlistelli	450	4.41		0.04
Assito	450	4.41		0.13
neve				1.33
vento (sottovento)				-1.27
vento (sopravento)				-1.19
Destinazione d'uso (cat. H)				0.5

*Tab. 5.10:  
Calcolo dei carichi  
corrispondenti alla  
stratigrafia del  
tetto*

Si è quindi proceduto al calcolo dei carichi da vento e da neve ai fini della definizione delle combinazioni di carico allo SLU.

La pressione del vento viene data come (vd. NTC 2018)

$$p = q_r \cdot c_p \cdot c_e \cdot c_d$$

Dove

- $q_r = \rho V_r^2 / 2$  è la pressione cinematica (con  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ ) densità dell'aria e  $V_r$  velocità di riferimento, il cui valore è fissato relativamente alla posizione geografica. In particolare, viene definito un valore di

partenza sulla base dell'appartenenza del sito a una macro-area geografica detta zona: tale valore è detto velocità base di riferimento  $e$ , con riferimento a tab. 5.11, per il caso in esame, che rientra nella zona geografica 1 (Nord Italia), viene fissato a  $V_{b,0} = 25$  m/s. Viene quindi trovata una velocità base  $V_b$  che, per un'altitudine inferiore al valore  $a_0$  riportato sempre in tabella (come nel caso in esame), coincide con il valore di  $V_{b,0}$ . In fine possiamo calcolare  $V_r = c_r \cdot V_b$ , dove il coefficiente di ritorno si può assumere  $c_r = 1$  per un periodo di ritorno stimato di 50 anni

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

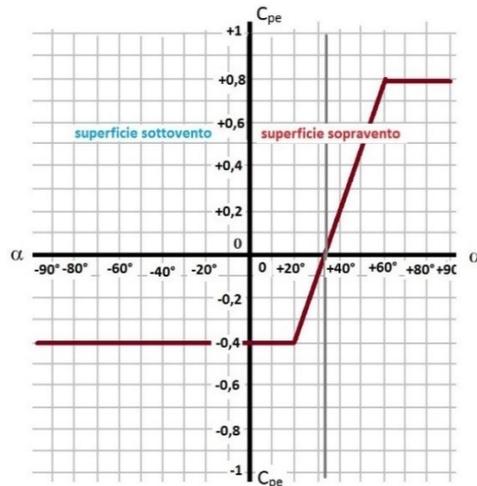
Tab. 5.11:  
Zone per la definizione della velocità del vento

- $c_p$  è detto coefficiente di pressione e rappresenta l'efficienza con cui la forza del vento genera una pressione sulle superfici che essa investe. Nell'ottica di considerare il delta di pressione a cavallo di ciascuna parete, da cui risulta l'azione del vento complessiva sulla parete stessa, il coefficiente di pressione è ottenuto come la somma di due valori detti rispettivamente coefficiente di pressione interna ed esterna:

$$c_p = c_{pi} + c_{pe} .$$

Il valore di  $c_{pi}$  è fissato a un valore entro  $\pm 0,2$  per il caso di interesse in cui meno di un terzo della superficie investita dal vento è composto da aperture.

Il valore di  $c_{pe}$  è invece funzione dell'angolo  $\alpha$  di inclinazione della superficie considerata rispetto alla direzione del vento. Figura 5.13 riporta in forma di grafico tale dipendenza: in particolare risulta che per gli elementi sottovento e per quelli sopravvento con inclinazione  $\alpha = 21^\circ$  si ha  $c_{pe} < -0,2$ ; si ha quindi che  $c_{pi}$  non porta mai  $c_p$  ad essere  $> 0$ . Ne risulta che entrambe le falde sono sempre sottoposte a depressione per azione del vento.



5.13:  
Valori di  $C_{pe}$  in base all'inclinazione dell'angolo  $\alpha$ .

- o  $c_e$  è detto coefficiente di esposizione al vento e viene calcolato come:

$$c_e = k_r^2 c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[7 + c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right]$$

con  $k_r$  e  $z_0$  opportunamente ricavati da tab. 5.12, considerando i valori relativi alla classe di esposizione IV,  $z$  altezza in metri dell'edificio e  $c_t$  coefficiente di topografia, convenzionalmente posto pari a 1.

Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	$K_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Tab. 5.12:  
Parametri per definire il coefficiente di esposizione

- $c_d$  è detto coefficiente dinamico e può essere cautelativamente posto pari a 1 per edifici che, come nel caso in esame, non eccedano gli 80 m di altezza.

Con riferimento a quanto detto, i valori numerici delle azioni di vento sono riportati in tab. 5.13:

Calcolo vento		
cd	1	
densità aria [kg/m <sup>3</sup> ]	1.25	
Vel. base zona1 [m/s]	25	
c <sub>r</sub> [T_ritorno=50anni]	1	
g <sub>r</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	390.625	
altitudine [m]	288	
k <sub>r</sub>	0.2	
z <sub>o</sub> [m]	0.05	
c <sub>t</sub>	1	
c <sub>e</sub>	5.423352379	
	Falda sopravento	Falda sottovento
c <sub>pe</sub>	-0.362958876	-0.4
c <sub>pi</sub>	-0.2	-0.2
c <sub>p</sub> = c <sub>pe</sub> + c <sub>pi</sub>	-0.562958876	-0.6
p. perp. vento [kN/m <sup>2</sup> ]	-1.193	-1.271
c <sub>f</sub> (superfici scabre)	0.03	
p <sub>f</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	0.064	
p <sub>f</sub> / p <sub>perp</sub>	-0.053	

Tab. 5.13:  
Determinazione  
dell'azione da  
vento

Esiste infine un contributo di trascinamento esercitato sempre dal vento in direzione parallela ad esso:

$$p_f = q_r \cdot c_e \cdot c_f$$

con  $q_r$  e  $c_e$  come sopra e  $c_f = 0,3$  per superfici molto scabre. Come evidenziato in tab. 5.13, tuttavia, l'apporto di questo contributo risulta sostanzialmente trascurabile.

Sempre in riferimento alla normativa vigente (NTC 2018), il carico da neve  $q_s$  viene calcolato secondo l'espressione seguente:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_1 \cdot C_E \cdot C_t$$

con

- $q_{sk}$  valore di riferimento della neve al suolo, per il quale viene adottato un valore di massima che tiene conto di un periodo di ritorno di 50 anni e un fattore geografico di massima che tiene conto della localizzazione del sito d'interesse in tre zone che identificano grossolanamente il settentrione, il centro e il meridione del Paese. Malnate è sito nella zona I, nella fascia detta mediterranea, ad un'altitudine sul livello del mare  $a_s = 288$  m, da cui risulta, secondo la stima fornita su NTC 2018:

$$q_{sk} = 1,35 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{a_s}{602 \text{ m}} \right)^2 \right] \approx 1,659 \text{ kN/m}^2$$

- $\mu_1$  è detto fattore di forma della copertura e tiene conto dell'inclinazione della stessa. Per il caso in esame di copertura perfettamente orizzontale si assume il valore di riferimento

$$\mu_1 = 0,8$$

Tab. 3.4.I – Valori di  $C_E$  per diverse classi di esposizione

Topografia	Descrizione	$C_E$
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Tab. 5.14:  
Valori di  $C_E$  per diverse classi di esposizione

- $C_E$  è invece il coefficiente di esposizione ed ha un valore sempre prossimo a 1, secondo la casistica riportata in

tab. 5.14. Per i nostri scopi, il valore da adottarsi è stato scelto come

$$C_E = 1$$

- $C_t$  infine è il coefficiente termico che normalmente tiene conto della riduzione del carico da neve per effetto dello scioglimento della stessa. In assenza di studi approfonditi sul sito in esame, è buona norma assumere prudentemente un valore unitario per questo parametro.

Tali valori sono riassunti di seguito:

Calcolo neve	
$q_{sk}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1.66
$\mu_1$	0.8
$C_e$	1
$C_t$	1
carico neve [kN/m <sup>2</sup> ]	1.33

Tab. 5.15:  
Determinazione  
dell'azione da neve

Per i carichi accidentali dovuti alla destinazione d'uso è stata individuata la categoria H – “coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione”, secondo tab. 5.16.

Nel calcolo delle combinazioni di carico si considerano gli stessi valori per falde sopravento e sottovento, in riferimento a quanto detto sopra. Inoltre, data l'azione favorevole del vento, che creando depressione tende a controbilanciare le altre azioni agenti sulle falde, non si considerano combinazioni di carico con azione del vento dominante, che avrebbe coefficiente  $\gamma_Q$  pari a 0, secondo tab. 5.17:

Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	Uffici			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attese, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
	≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00	
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	5,00	2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

\* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.

\*\* per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

Tab. 5.16:  
Valori di sovraccarico per categorie d'uso

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Tab. 5.17:  
Coefficienti  
parziali nelle com-  
binazioni SLU

I valori delle combinazioni sono riportati di seguito, per direzione parallela e ortogonale alle falde:

DIREZIONE PARALLELA FALDE	
SLU [kN/m <sup>2</sup> ]	
dominante neve	2.071396169
dominante destinazione d'uso	2.215603403
DIREZIONE PERPENDICOLARE FALDE	
SLU [kN/m <sup>2</sup> ]	
dominante neve	3.205967788
dominante destinazione d'uso	2.420560003

Tab. 5.18:  
Componenti pa-  
rallela e perpendi-  
colare alle falde dei  
carichi allo SLU

Si riportano di seguito le caratteristiche dei travetti:

base [m]	0.15
altezza [m]	0.15
sez. [m <sup>2</sup> ]	0.0225
amp. area infl. [m]	0.75
lungh. falda [m]	4.7
interasse vincoli (l) [m]	1.88
$\alpha$ [gradi]	21
$\alpha$ [rad]	0.371
P. specifico [kg/m <sup>3</sup> ]	450
Peso/m [kN/m]	0.099
Mom. inerzia [m <sup>4</sup> ]	4.21875E-05
Modulo w [mm <sup>3</sup> ]	562500
Raggio di inerzia [m]	0.043
Snellezza ( $\lambda_{crit,m}$ )	0.282

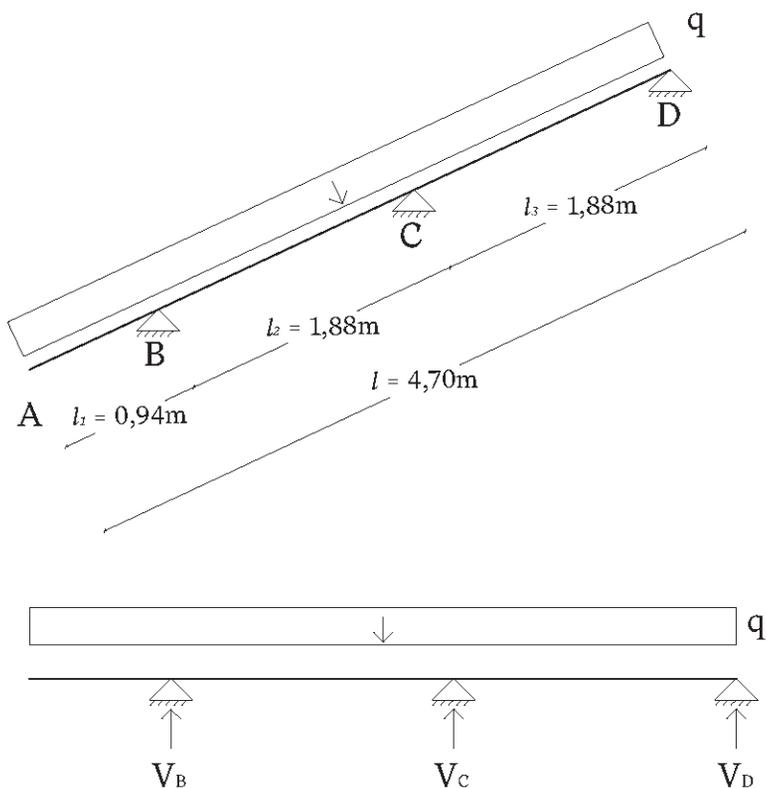
Tab. 5.19:  
Caratteristiche dei  
travetti

Le azioni allo SLU in direzione ortogonale ad essi, pari ai carichi allo SLU moltiplicati per l'area di influenza del singolo travetto:

	[kN/m]
q neve dominante	2.404475841
q D.U. dominante	1.815420002

Tab. 5.20:  
Azioni allo SLU

Sulla base dello schema statico di seguito è stato utilizzato il seguente procedimento per la risoluzione della trave iperstatica:

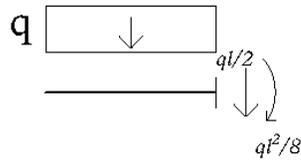


5.14:  
Schema statico del  
travetto del tetto

Si è dunque imposta un'equazione di compatibilità cinematica nel nodo C che definisce che le rotazioni a destra del nodo siano uguali alle rotazioni a sinistra del nodo.

Si riportano di seguito i calcoli effettuati:

5.15:  
Metodo di risoluzione del primo tratto del travetto



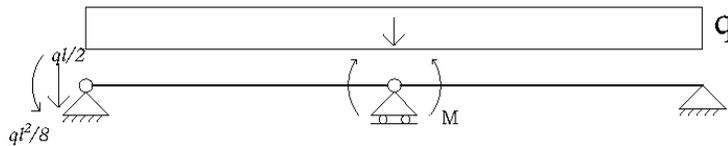
Per il primo tratto, da tabelle, i valori del taglio e del momento nel punto di sezione della trave valgono:

$$V = \frac{ql}{2}$$

$$M = \frac{ql^2}{8}$$

Tali forze vengono riportate nel medesimo punto sull'altro ramo della trave

5.16:  
Metodo di risoluzione del secondo tratto del travetto



A questo punto si impone la congruenza nel nodo C:

$$\varphi_{Csx} = \varphi_{Cdx}$$

$$\varphi_{Csx} = \varphi_{Csx}(x) + \varphi_{Csx}(q) + \varphi_{Csx}\left(\frac{ql^2}{8}\right)$$

$$\varphi_{Csx}\left(\frac{ql^2}{8}\right) = \frac{Ml}{6EJ} = \frac{ql^3}{48EJ}$$

$$\varphi_{Csx} = -\frac{xl}{3EJ} + \frac{ql^3}{24EJ} - \frac{ql^3}{48EJ}$$

$$\varphi_{Cdx} = \frac{xl}{3EJ} - \frac{ql^3}{24EJ}$$

Equazione di compatibilità cinematica:

$$-\frac{x l}{3 E J} + \frac{q l^3}{24 E J} - \frac{q l^3}{48 E J} = \frac{x l}{3 E J} - \frac{q l^3}{24 E J}$$

da cui, isolando il termine in  $x$  a primo membro,

$$\frac{2 x l}{3 E J} = \frac{q l^3}{12 E J} - \frac{q l^3}{48 E J}$$

$$\rightarrow x l = \frac{3 q l^3}{2 \cdot 12} - \frac{3 q l^3}{2 \cdot 48}$$

$$\rightarrow x l = \frac{3 q l^3}{2 \cdot 12} - \frac{3 q l^3}{2 \cdot 48}$$

$$\rightarrow = \frac{q l^3}{8} - \frac{q l^3}{32}$$

Infine:

$$x = \frac{3}{32} q l^2$$

Momento in C per il tratto BC:

$$V_D l - \frac{q l^2}{2} + x = 0$$

$$\rightarrow V_D l - \frac{q l^2}{2} + \frac{3}{32} q l^2 = 0$$

$$\rightarrow V_D = \frac{q l}{2} - \frac{3}{32} q l = \frac{13}{32} q l$$

Bilanciamento forze verticali:

$$V_B + V_C + V_D - \frac{5}{2} q l = 0$$

Momento in D per il tratto CD:

$$\frac{5}{2} q l \cdot \frac{5}{4} l - V_C l - V_B 2 l = 0$$

Sostituendo dunque  $V_B$  nella seconda

$$V_B = \frac{5}{2}ql - \frac{13}{32}ql - V_C$$

$$\rightarrow V_B = \frac{67}{32}ql - V_C$$

e poi nella terza

$$\frac{25}{8}ql^2 - V_C l - \left(\frac{67}{32}ql - V_C\right) 2l = 0$$

$$\rightarrow \frac{25}{8}ql^2 - V_C l - \frac{67}{16}ql^2 + 2V_C l = 0$$

$$\rightarrow \frac{25}{8}ql^2 - \frac{67}{16}ql^2 + V_C l = 0$$

$$\rightarrow V_C = \frac{17}{16}ql$$

Riportando infine la forma esplicita di  $V_C$  in  $V_B$ :

$$V_B = \frac{67}{32}ql - \frac{17}{16}ql = \frac{33}{32}ql$$

sono state calcolate le reazioni vincolari:

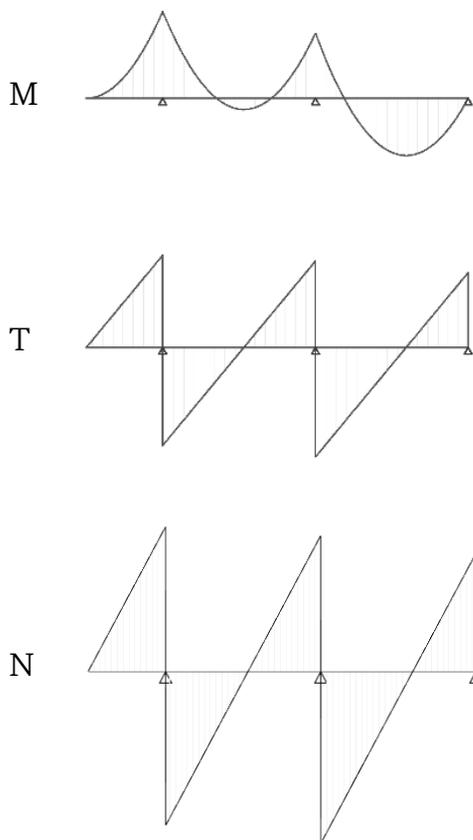
VALORI DI PROGETTO	neve	D.U.
$V_B$ [kN]	4.66	3.52
$V_C$ [kN]	4.80	3.63
$V_D$ [kN]	1.84	1.39

Tab. 5.21:  
Valori delle reazio-  
ni vincolari

Si è quindi proceduto al calcolo delle reazioni interne: in particolare, per le azioni assiali (dovute al carico parallelo alla direzione del travetto) è stato necessario ottenere un valore anche per la proiezione delle reazioni dei vincoli in tale direzione. A tal fine si è osservato che le reazioni prodotte da tre appoggi non possono essere che verticali: di conseguenza, le loro proiezioni in direzione parallela ai travetti risultano

proporzionali alle corrispettive proiezioni ortogonali. Allora, denominate  $H$  le proiezioni parallele e  $q_{\parallel} = q \cdot \cos \alpha$  la componente di carico parallela alle falde, sono applicabili le stesse formule trovate per  $V_A, V_B$  e  $V_C$ , pur di sostituire le  $V$  con delle  $H$  e il carico distribuito perpendicolare  $q$  con  $q_{\parallel}$ . I profili delle tre azioni interne sono riportati in fig. 5.17.

Le verifiche di resistenza a taglio e flessione sono state condotte nel modo usuale (vd. verifiche solaio). Per quanto riguarda le azioni assiali, è stato necessario calcolare la resistenza sia a trazione sia a compressione.



5.17:  
 Diagrammi di  
 momento, taglio e  
 azione assiale del  
 travetto

Vanno innanzitutto definite le resistenze di progetto, in modo analogo a quanto già visto per flessione e taglio:

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M \cdot 1,35} \quad (\text{trazione})$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M \cdot 1,35} \quad (\text{compressione})$$

dove  $k_{mod}$  è assegnato in base al carico di minor durata della combinazione di carico applicata (0,9 per dominante neve e 0,8 per dominante destinazione d'uso),  $k_h$  è una correzione che diventa importante per sezioni di lato inferiore a 0,15 m (nel nostro caso:  $k_h = 1$ ) e coefficiente di sicurezza e resistenze sono proprietà specifiche del materiale. Nel nostro caso di travetti in quercia:

$$\gamma_M = 1,5$$

$$f_{t,0,k} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 27 \text{ N/mm}^2$$

La verifica di resistenza a trazione consiste nel controllo che

$$\sigma_t = \frac{N_{t,Ed}}{b \cdot h} \leq f_{t,0,d}.$$

Per la resistenza a trazione si richiede invece che

$$\sigma_c = \frac{N_{c,Ed}}{b \cdot h} \leq k_{crit,c} \cdot f_{c,0,d},$$

con coefficiente critico riduttivo per la compressione

$$K_{crit,c} = \begin{cases} 1, & \text{se } \lambda_{rel,c} \leq 1 \\ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}}}, & \text{se } 1 < \lambda_{rel,c} \end{cases}$$

essendo per il legno massiccio  $k = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2)$  e la snellezza relativa per compressione definita come:

$$\lambda_{rel,c} = \frac{L_0}{i \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,09}}},$$

con  $L_0$  distanza di libera inflessione,  $i$  raggio giratore di inerzia ed  $E_{0,05}$  frattile inferiore (5%) del modulo di elasticità normale. I risultati sono riportati in tab. 5.22:

VERIFICA A TAGLIO	dominante neve	dominante D.U.
$T_{Ed}$ [kN]	2.68	2.0264
$\tau$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.179	0.135
$k_{mod}$	0.9	0.8
$f_{v,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1.778	1.580
$\tau / f_{v,d}$	0.101	0.085
VERIFICA A FLESSIONE	dominante neve	dominante D.U.
$M_{Ed}$ [kN*m]	1.062	0.802
$\sigma_k$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1.889	1.426
Snellezza relat. fless. ( $\lambda_{rel,m}$ )	0.282	0.282
$k_{crit}$	1.000	1.000
$k_{mod}$	0.9	0.8
$f_{m,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	18.667	16.593
$\sigma_k / (k_{crit} * f_{m,d})$	0.101	0.086
VERIFICA A TRAZIONE	dominante neve	dominante D.U.
$N_{t,Ed}$ [kN]	1.947	2.083
$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.087	0.093
$f_{t,0,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	11.111	9.877
VERIFICA A COMPRESSIONE	dominante neve	dominante D.U.
$N_{c,Ed}$ [kN]	2.312	2.473
$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.103	0.110
snellezza rel. comp. ( $\lambda_{rel,c}$ )	0.715	0.715
$k_{crit,c}$	1	1
$f_{c,0,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12.000	10.667
$\sigma_c / (k_{crit} * f_{c,0,d})$	0.009	0.010

Tab. 5.22:  
Verifiche a taglio,  
flessione, trazione  
e compressione del  
travetto

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

## Terzera

Il passaggio successivo è stata la verifica delle terzere, per cui è stata considerata la trave in condizioni più sfavorevoli, ossia quella di luce maggiore, le cui caratteristiche sono riportate in tab. 5.23:

Terzera più sfavorevole	
base [m]	0.22
altezza [m]	0.22
sez. [mq]	0.0484
$l_1$ [m]	2.5
$l_2$ [m]	2.9
Luce [m]	5.4
P. specifico [kg/mc]	450
Peso/m [kN/m]	0.213
Mom. inerzia [m <sup>4</sup> ]	0.000195213
Modulo w [mmc]	1774666.667
Raggio di inerzia [m]	0.064
Numero travetti sopra	8
Interasse travetti [m]	0.75

Tab. 5.23:  
Caratteristiche  
della terza

I carichi agenti sulla terza sono rappresentati dai carichi derivanti dall'appoggio dei travetti (reazione vincolare  $V_B$  calcolata nella sezione precedente) e dal peso proprio.

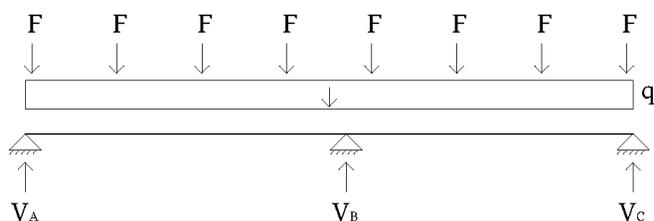
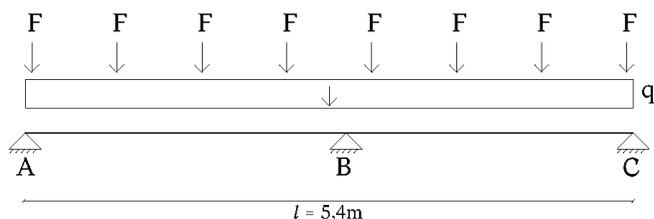
F da ogni travetto [kN]		
	neve	D.U.
terzera	5.153	3.890
	$\gamma_1$	1.3
terzera	contributo. peso proprio [kN/m]	0.2774772

Tab. 5.24:  
Forza trasmessa  
alla terza da  
ogni travetto

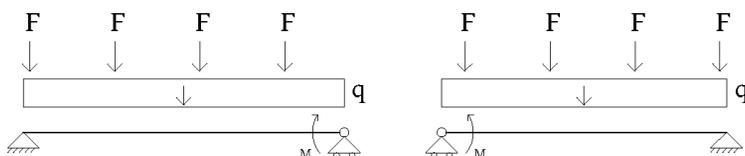
Essendo i carichi puntuali equidistanti e tutti uguali in valore, per semplicità di calcolo si è considerato il loro contributo nella forma di un carico distribuito costante lungo la trave, cosicché il carico totale risulti

$$q = q_{proprio} + \frac{8 \cdot F_{travetto}}{l}.$$

Lo schema statico e il procedimento, analogamente all'elemento precedente, sono i seguenti:



5.18:  
Schema statico  
della terza



5.19:  
Metodo di risolu-  
zione della terza

Come mostra fig. 5.18, per aumentare i vincoli del sistema iperstatico, si è spezzata la trave in corrispondenza dell'appoggio in B con una cerniera interna ed un momento incognito  $M$  tale da annullare la rotazione relativa dei due tratti di trave.

La rotazione nel nodo B è complessivamente data da:

$$\Delta\varphi_B(M) + \Delta\varphi_B(q) = -\frac{M}{3l_1EJ} - \frac{M}{3l_2EJ} + \frac{ql_1^3}{24EJ} - \left(-\frac{ql_2^3}{24EJ}\right) = 0$$

da cui

$$M = \frac{q(l_1^3 + l_2^3)}{8(l_1 + l_2)}.$$

Imponendo l'annullarsi del momento nei due bracci AB e BC otteniamo:

$$V_A = \frac{ql_1}{2} - \frac{M}{l_1} = \frac{ql_1}{2} - \frac{q(l_1^3 + l_2^3)}{8l_1(l_1 + l_2)},$$

$$V_C = \frac{ql_2}{2} - \frac{M}{l_2} = \frac{ql_2}{2} - \frac{q(l_1^3 + l_2^3)}{8l_2(l_1 + l_2)}$$

L'ultima reazione può essere calcolata dal bilancio delle azioni verticali:

$$\begin{aligned} V_B = q(l_1 + l_2) - V_A - V_C &= ql - \frac{ql_1}{2} - \frac{ql_2}{2} + \frac{M(l_1 + l_2)}{l_1 l_2} \\ &= \left( \frac{q}{2} + \frac{M}{l_1 l_2} \right) l \end{aligned}$$

I valori numerici sono riportati in tab. 5.25:

CARICHI	neve	D.U.
P. prop. * $\gamma_1$ [kN/m]	0.277	0.277
P. da travetti [kN/m]	7.634	5.764
P. tot. distrib. [kN/m]	7.911	6.041
<b>MOMENTI INTERNI</b>		
M [kN*m]	7.328	5.596
<b>REAZIONI VINCOLARI</b>		
Va [kN]	8.944	9.664
Vb [kN]	26.818	13.169
Vc [kN]	6.958	9.790

Tab. 5.25:  
Carichi, momenti  
e reazioni agenti  
sulla terza

In seguito al calcolo delle azioni interne, utili a determinare i valori massimi e minimi, sono state effettuate le verifiche:

VERIFICA A TAGLIO	dominante neve	dominante D.U.
$T_{Ed}$ [kN]	13.998	9.790
$\tau$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.434	0.653
$k_{mod}$	0.9	0.8
$f_{v,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1.778	1.580
$\tau / f_{v,d}$	0.244	0.413

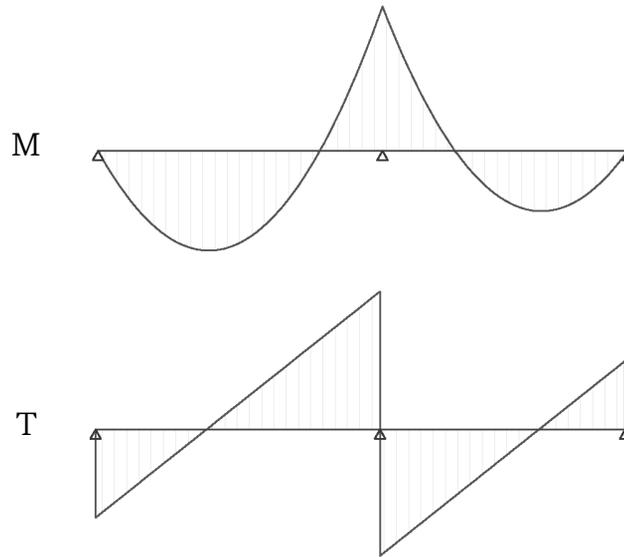
VERIFICA A FLESSIONE	dominante neve	dominante D.U.
$M_{Ed}$ [kN*m]	7.328	7.932
$\sigma_k$ [N/mm <sup>2</sup> ]	4.129	4.470
Snellezza relat. fless.	0.808	0.808
$k_{crit}$	0.954	0.954
$k_{mod}$	0.9	0.8
$f_{m,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	18.667	16.593
$\sigma_k / (k_{crit} * f_{m,d})$	0.232	0.282

Tab. 5.26:  
Verifica a taglio e  
flessione

Entrambe le verifiche risultano soddisfatte.

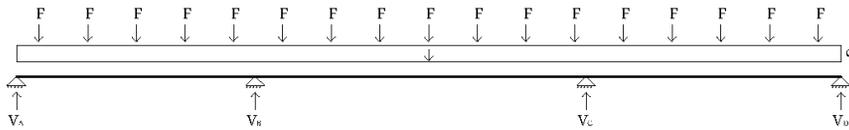
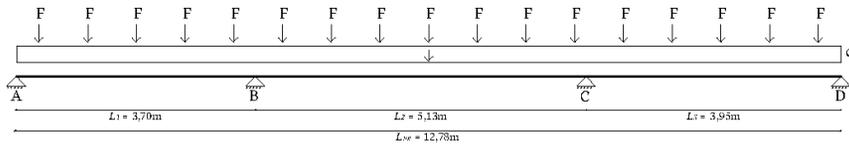
Vengono inoltre riportati i grafici delle azioni interne, ottenuti con l'ausilio dello strumento ©TraveConDwg.

5.20:  
*Diagrammi di  
momento e taglio  
della terza*

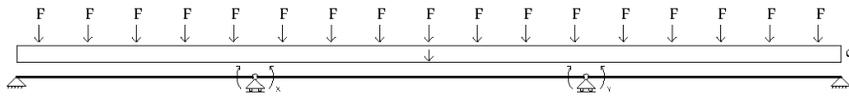


## Trave di colmo

I carichi agenti sulla trave di colmo – vedi fig. 5.21 – provengono da diciassette coppie di travetti delle due falde del tetto (reazione vincolare  $V_C$  calcolata nella sezione dedicata ai travetti, in combinazione di carico SLU con dominante neve o destinazione d'uso) e dal peso proprio, opportunamente scalato per  $\gamma_{G1} = 1,3$ .



5.21:  
Schema statico  
della trave di colmo



5.22:  
Metodo di risoluzi-  
one della trave di  
colmo

In tab. 5.27: sono riportate le principali caratteristiche:

Trave di colmo	
Base sezione [m]	0.3
Altezza sezione [m]	0.3
Area sez. [m <sup>2</sup> ]	0.09
P. specifico [kg/m <sup>3</sup> ]	450
Peso/m [kN/m]	0.3969
Mom. inerzia [m <sup>4</sup> ]	0.000675
Modulo w [mm <sup>3</sup> ]	4500000
Raggio di inerzia [m]	0.08660254
Numero travetti sopra	34
Interasse travetti [m]	0.75
L1 [m]	3.7
L2 [m]	5.13
L3 [m]	3.95
Ltot [m]	12.78

Tab. 5.27:  
Caratteristiche  
della trave di colmo

Per semplicità di calcolo, anziché considerare diciassette coppie di carichi puntuali corrispondenti ai travetti, si è assunta una distribuzione continua di carico lineare, ottenuta come il carico complessivo normalizzato alla lunghezza della trave stessa. La struttura risulta quindi caricata con un unico carico distribuito:

$$q = q_{\text{Peso proprio}} + \frac{34 \cdot F_{\text{travetto}}}{L_{\text{tot}}}.$$

Essendo questo unico carico puramente verticale, la struttura si trova ad essere due volte iperstatica, imponendo l'utilizzo di due equazioni di congruenza nei nodi B e C. Si è dunque scelto di trattare questi due appoggi come cerniere interne alla trave, con l'aggiunta di due momenti interni, chiamati rispettivamente  $x$  e  $y$ , il cui valore viene fissato richiedendo che non ci sia rotazione relativa tra i due tratti di trave collegati dalla cerniera.

Nel nodo B, la rotazione relativa tra i tratti AB e BC è data da:

1. La distribuzione di carico sulla trave:

$$\Delta\varphi_B(q) = -\frac{qL_1^3}{24EJ} - \frac{qL_2^3}{24EJ} = -\frac{q(L_1^3 + L_2^3)}{24EJ}$$

2. Il momento agente nel vincolo B:

$$\Delta\varphi_B(x) = \frac{xL_1}{3EJ} - \left(-\frac{xL_2}{3EJ}\right) = \frac{x(L_1 + L_2)}{3EJ}$$

3. Il momento agente sul tratto BC, ma nel nodo C:

$$\Delta\varphi_B(y) = \frac{yL_2}{6EJ}$$

e un discorso analogo vale per il nodo C. Conseguentemente, si avrà che

$$\begin{cases} 2x(L_1 + L_2) + yL_2 - \frac{q}{4}(L_1^3 + L_2^3) = 0 & (\Delta\varphi_B = 0) \\ 2y(L_2 + L_3) + xL_2 - \frac{q}{4}(L_2^3 + L_3^3) = 0 & (\Delta\varphi_C = 0) \end{cases}$$

Risolvendo il sistema, si trova dunque che:

$$\begin{cases} x = \frac{q}{4} \cdot \frac{L_2(L_2^3 + L_3^3) - 2(L_2 + L_3)(L_1^3 + L_2^3)}{L_2^2 - 4(L_1 + L_2)(L_2 + L_3)} \\ y = \frac{q}{4} \cdot \frac{L_2(L_1^3 + L_2^3) - 2(L_1 + L_2)(L_2^3 + L_3^3)}{L_2^2 - 4(L_1 + L_2)(L_2 + L_3)} \end{cases}$$

Possiamo usare il bilancio dei momenti sui tratti AB e CD della trave per ricavare i valori delle reazioni  $V_A$  e  $V_D$  in funzione dei momenti appena trovati:

$$V_A = \frac{qL_1}{2} - \frac{x}{L_1}; \quad V_B = \frac{qL_2}{2} - \frac{y}{L_2}.$$

Vista la complessità dei termini  $x$  e  $y$ , si è deciso di trovare i valori delle azioni solo numericamente, senza ottenerne l'espressione analitica esplicita.

Le rimanenti due reazioni si trovano imponendo il bilancio delle azioni verticali e del momento (p.e. in A) dell'intera struttura:

$$\begin{cases} V_A + V_B + V_C + V_D = qL_{tot} \\ V_B L_1 + V_C(L_1 + L_2) + V_D L_{tot} = \frac{qL_{tot}^2}{2} \end{cases}$$

Dalla seconda si può ottenere

$$V_B = \frac{q}{2} L_{tot} \left(1 + \frac{L_2}{L_1} + \frac{L_3}{L_1}\right) - V_C \left(1 + \frac{L_2}{L_1}\right) - V_D \left(1 + \frac{L_2}{L_1} + \frac{L_3}{L_1}\right),$$

che, sostituita nell'altra, produce

$$\begin{aligned} V_A + V_C \left(1 - 1 - \frac{L_2}{L_1}\right) + V_D \left(1 - 1 - \frac{L_2}{L_1} - \frac{L_3}{L_1}\right) &= \\ &= \frac{qL_{tot}}{2} \left(2 - 1 - \frac{L_2}{L_1} - \frac{L_3}{L_1}\right) \end{aligned}$$

da cui

$$V_C = \frac{L_1}{L_2} V_A + \frac{L_2 + L_3}{L_2} V_D + \frac{qL_{tot}}{2} \left(\frac{L_1 - L_3}{L_2} - 1\right).$$

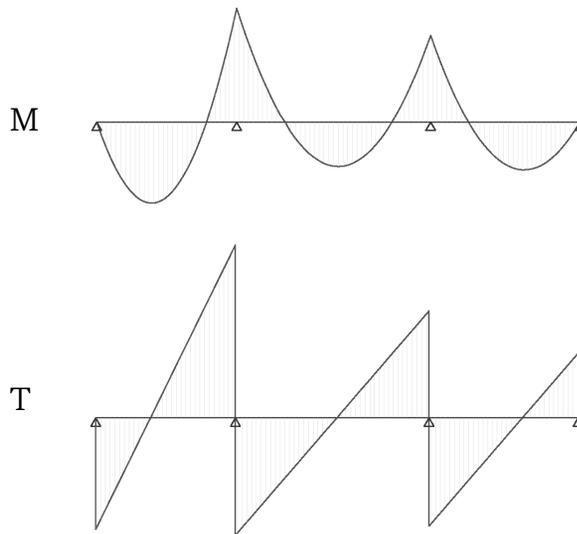
Sostituendo numericamente i valori di  $V_A$  e  $V_D$  in  $V_C$  e poi tutti e tre nell'equazione per  $V_B$ , si ottengono i valori riassunti nella seguente tab. 5.28:

CARICHI	neve	D.U.
P. prop. * $\gamma_1$ [kN/m]	0.516	0.516
P. da travetti [kN/m]	5.241	3.957
P. tot. distrib. [kN/m]	5.757	4.473
<b>MOMENTI INTERNI</b>		
x [kN*m]	11.553	8.976
y [kN*m]	12.322	9.574
<b>REAZIONI VINCOLARI</b>		
Va [kN]	7.529	5.850
Vb [kN]	28.392	22.059
Vc [kN]	29.408	22.849
Vd [kN]	8.252	6.411

Tab. 5.28:  
Carichi, momenti  
e reazioni agenti  
sulla trave di colmo

Ancora una volta si è utilizzato lo strumento di calcolo ©TraveConDwg per disegnare i grafici delle reazioni interne, di seguito, in fig. 5.23.

Come al solito, si sono calcolati i valori di taglio in tutti i nodi ed il più alto in valore assoluto è stato scelto come  $V_{Ed}$ . Il momento è stato calcolato nei nodi e dove il taglio si annulla e il massimo in valore assoluto è stato selezionato come  $M_{Ed}$  (vd. tab. 5.28).



5.23:  
 Diagrammi di  
 momento e taglio  
 della trave di colmo

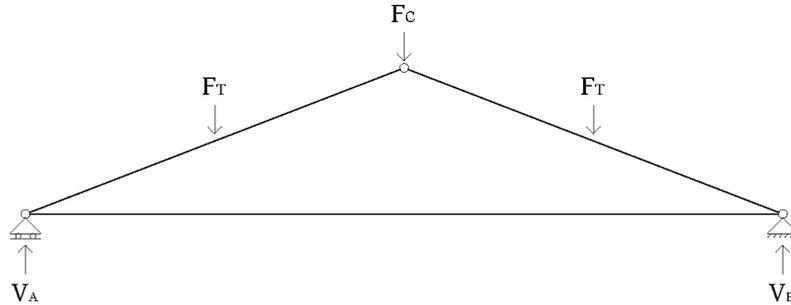
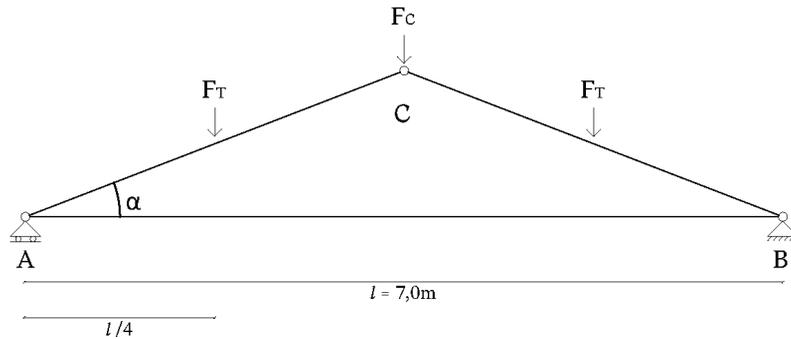
In fine, sono state eseguite le verifiche per flessione e taglio: i risultati evidenziati di seguito mostrano una volta di più la resistenza della trave considerata.

VERIFICA A TAGLIO	dominante neve	dominante D.U.
$T_{\max}$ [kN]	14.918	11.591
$\tau$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.249	0.773
$k_{\text{mod}}$	0.9	0.8
$f_{v,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1.778	1.580
$\tau / f_{v,d}$	0.140	0.489

VERIFICA A FLESSIONE	dominante neve	dominante D.U.
$M_{\max}$ [kN*m]	12.322	9.574
$\sigma_k$ [N/mm <sup>2</sup> ]	2.738	2.128
Snellezza relat. fless.	1.216	1.216
$k_{\text{crit}}$	0.648	0.648
$k_{\text{mod}}$	0.9	0.8
$f_{m,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	18.667	16.593
$\sigma_k / (k_{\text{crit}} * f_{m,d})$	0.226	0.198

Tab. 5.29:  
 Verifica a taglio  
 e flessione della  
 trave di colmo

# Capriata

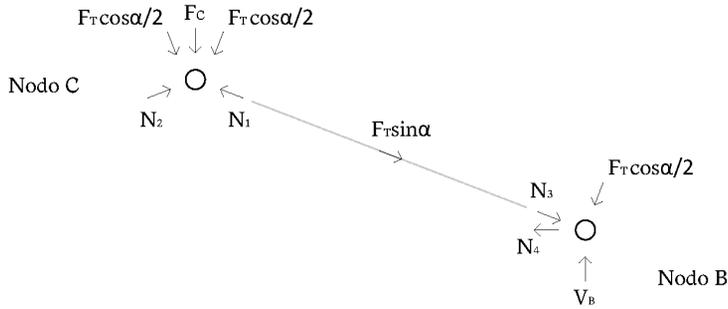


5.24:  
Schema statico  
della capriata

La struttura della capriata è completamente simmetrica rispetto all'asse verticale: ne consegue che anche le reazioni dei vincoli e le azioni interne avranno la stessa simmetria. In effetti, bilanciando le forze in direzione verticale e imponendo che il loro momento si annulli nel punto A (uno dei vincoli), si ottiene:

$$V_A = V_B = \frac{F_C}{2} + F_T ,$$

dove  $F_T$  rappresenta il carico puntuale generato dalla combinazione di SLU sulle travi terze (reazione  $V_B$  della trave terza), essendo  $F_C$  la controparte generata dalla trave di colmo (reazione  $V_B$  della trave di colmo).



5.25:  
Risoluzione della  
capriata

Per il calcolo delle azioni interne, iniziamo con il bilancio delle forze nel tratto denominato CB, caratterizzato dall'azione della forza  $F_T$  a metà lunghezza. Scomponiamo tale forza nella sua componente flessionale (ortogonale alla trave BC) e in quella assiale (parallela): il bilancio flessionale produce un'azione di taglio massima agli estremi della trave (B e C), pari a:

$$T_{Ed}(BC) = -\frac{F_T \cos \alpha}{2},$$

con  $\alpha = 21^\circ$  angolo di inclinazione dei puntoni rispetto all'orizzonte. Per determinare l'azione assiale, serve compiere il bilancio dei nodi C e B: sul primo agiscono la forza verticale  $F_C$ , le azioni assiali delle due travi ( $N_2$  ed  $N_1$ , rispettivamente per BC ed AC) e la reazione  $-T_{Ed}$  che bilancia la tendenza delle due travi a traslare ortogonalmente, sotto l'azione delle forze flessionali generate da  $F_T$ . Il bilancio dei contributi verticali e orizzontali sarà dunque:

$$\begin{cases} -F_C - 2 \cdot \frac{F_T \cos^2 \alpha}{2} + N_2 \sin \alpha + N_1 \sin \alpha = 0 \\ N_2 \cos \alpha = N_1 \cos \alpha \end{cases}$$

la cui soluzione è

$$N_1 = N_2 = \frac{F_C}{2 \sin \alpha} + \frac{F_T \cos^2 \alpha}{2 \sin \alpha}.$$

L'azione assiale di BC sarà dunque  $N_1$  dal nodo C fino al punto di applicazione della forza  $F_T$ , oltre il quale assumerà il valore:

$$N_3 = N_1 + F_T \sin \alpha = \frac{F_C}{2 \sin \alpha} + F_T \left( \frac{\cos^2 \alpha}{2 \sin \alpha} + \sin \alpha \right).$$

Infine, il bilancio nel nodo B produce:

$$\begin{cases} -N_3 \sin \alpha - \frac{F_T \cos^2 \alpha}{2} + V_B = 0 & (\uparrow) \\ N_3 \cos \alpha - \frac{F_T \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{2} - N_4 = 0 & (\rightarrow) \end{cases}$$

dove  $N_4$  è l'azione interna nella catena.

La prima equazione non contiene incognite e serve solo da verifica: sostituendo i valori di  $N_3$  e  $V_B$  infatti

$$-\frac{F_C}{2} - F_T \left( 2 \cdot \frac{\cos^2 \alpha}{2} + \sin^2 \alpha \right) + \frac{F_C}{2} + F_T \equiv 0$$

usando la relazione trigonometrica:  $\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1$ .

La seconda può essere usata per il calcolo dell'azione assiale sulla catena:

$$N_4 = \frac{F_C \cos \alpha}{2 \sin \alpha} + F_T \left( \frac{\cos^3 \alpha}{2 \sin \alpha} + \sin \alpha \cdot \cos \alpha - \frac{\cos \alpha \cdot \sin \alpha}{2} \right)$$

$$N_4 = \frac{F_C \cos \alpha}{2 \sin \alpha} + F_T \left( \frac{\cos^3 \alpha}{2 \sin \alpha} + \frac{\cos \alpha \cdot \sin \alpha}{2} \right)$$

$$N_4 = \frac{F_C \cos \alpha}{2 \sin \alpha} + \frac{F_T \cos \alpha}{2 \sin \alpha} (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha)$$

da cui otteniamo:

$$N_4 = \frac{\cos \alpha}{2 \sin \alpha} (F_C + F_T).$$

Prima di eseguire le verifiche di resistenza, manca da calcolare unicamente il momento massimo nelle travi oblique. Tale valore è però semplicemente il momento nel punto centrale della trave, dato da

$$M_{Ed}(BC) = \frac{F_{\perp} l_{trave}}{4} = \frac{1}{4} \cdot F_T \cos \alpha \cdot \frac{l}{2 \cos \alpha} = \frac{F_T l}{8},$$

essendo la lunghezza dei puntoni  $l_{trave}$  legata alla lunghezza  $l$  della catena dalla relazione:  $l/2 = l_{trave} \cos \alpha$ .

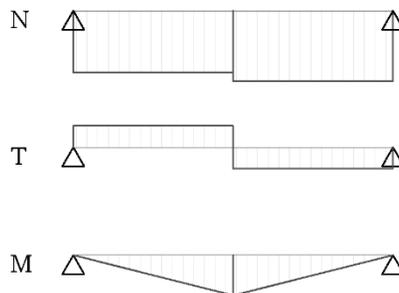
I valori numerici per reazioni vincolari e azioni interne sono riportati nella seguente tab. 5.30:

CARICHI	neve	D.U.
Fc [kN]	28.392	22.059
Ft [kN]	26.818	25.209
REAZIONI		
Va [kN]	41.014	36.239
Vb [kN]	41.014	36.239
AZIONI INTERNE		
N1=N2 [kN]	72.224	61.432
N3 [kN]	81.835	70.466
N4 [kN]	71.913	61.569

Tab. 5.30:  
Carichi, momenti  
e reazioni agenti  
sulla trave di colmo

I diagrammi sono riportati in fig. 5.26-5.27, mentre le verifiche di resistenza di puntoni e catena sono illustrate in tab. 5.31-32: si può constatare che vengono tutte soddisfatte.

Puntone



5.26:  
Diagrammi di  
azione assiale,  
taglio e momento  
del puntone

Catena



5.27:  
Diagramma di  
azione assiale della  
catena

VERIFICA A TAGLIO punti	dominante neve	dominante D.U.
$T_{Ed}$ [kN]	12.519	11.767
$\tau$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.209	0.196
$k_{mod}$	0.9	0.8
$f_{v,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1.778	1.580
$\tau / f_{v,d}$	0.117	0.124

VERIFICA A FLESSIONE punti	dominante neve	dominante D.U.
$M_{Ed}$ [kN*m]	23.466	22.058
$\sigma_k$ [N/mm <sup>2</sup> ]	5.215	4.902
Snellezza relat. fless. ( $\lambda_{rel,m}$ )	0.004	0.004
$k_{crit}$	1.000	1.000
$k_{mod}$	0.9	0.8
$f_{m,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	18.667	16.593
$\sigma_k / (k_{crit} * f_{m,d})$	0.279	0.295

VERIFICA A COMPRESS. punti	dominante neve	dominante D.U.
$N_{c,Ed}$ [kN]	81.835	70.466
$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.909	0.783
snellezza rel. comp. ( $\lambda_{rel,c}$ )	0.715	0.715
$k_{crit,c}$	1	1
$f_{c,0,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12.000	10.667
$\sigma_c / (k_{crit} * f_{c,0,d})$	0.076	0.073

Tab. 5.31:  
Verifiche a taglio,  
flessione e azione  
assiale dei punti

VERIFICA A TRAZIONE catena	dominante neve	dominante D.U.
$N_{t,Ed}$ [kN]	71.913	61.569
$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.799	0.684
$f_{t,0,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	11.111	9.877
$\sigma_t / f_{t,0,d}$	0.072	0.069

Tab. 5.32:  
Verifica ad azione  
assiale della catena

In conclusione, è stata eseguita la verifica ad azione combinata presso-flessionale per i puntoni:

$$\frac{\sigma_c}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_k}{k_{crit,m} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

Prendendo i valori dei due addendi dai risultati mostrati in tab. 5.31 per flessione e compressione, si osserva che anche in questo caso la verifica è abbondantemente soddisfatta per entrambe le combinazioni di carico.



**6**  
**PROGETTI**  
*per Casamatta*

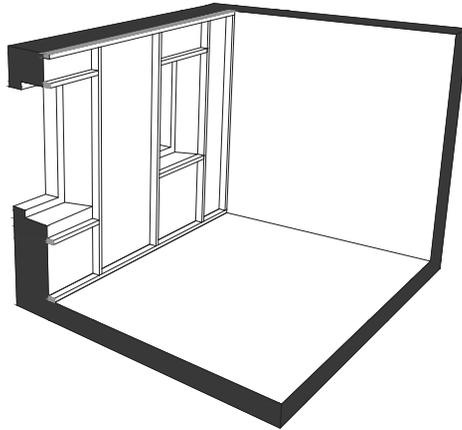


## Isolamento interno

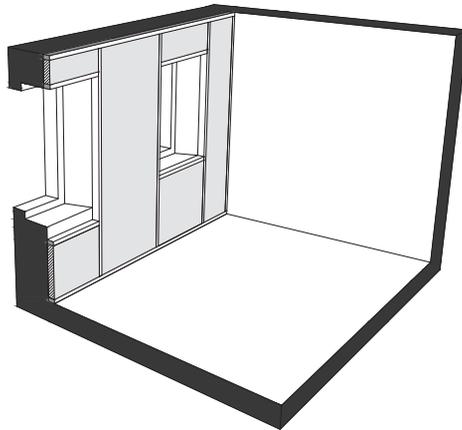
Allo stato attuale, nella sala comune non è presente l'isolamento interno né per il tetto né per le pareti. Si è dunque pensato, in continuità con le soluzioni già adottate dai volontari in altri ambienti, di posizionare l'isolamento termico sul lato interno: per quanto questa soluzione sia svantaggiosa dal punto di vista della perdita di spazio negli ambienti, presenta una serie di vantaggi, quali la possibilità di realizzare l'opera in autocostruzione e la possibilità di mantenere visibile la facciata esterna, di grande interesse anche dal punto di vista del racconto della storia dell'edificio.

Per l'isolamento è stata dunque studiata una intelaiatura in legno per l'alloggiamento dei materiali isolanti e la successiva chiusura dell'intercapedine così ottenuta con pannelli o perline in legno. Tale soluzione, oltre a quelli già citati, presenta l'ulteriore vantaggio di garantire una certa flessibilità nelle forme e dimensioni delle componenti e nella scelta dei materiali isolanti, a seconda di cosa si riesce a reperire.

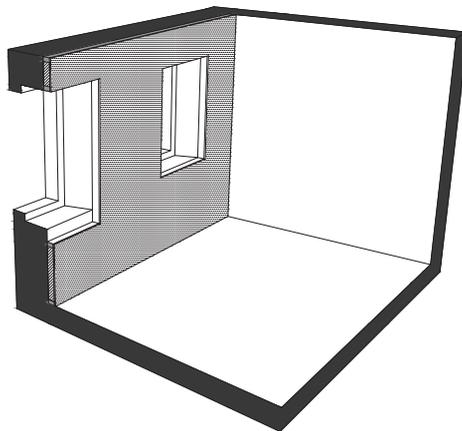
Essendo la ristrutturazione degli spazi basata sui materiali che si riesce a reperire, una simile soluzione per la posa dell'isolamento interno consente un elevato grado di flessibilità anche per quanto riguarda il posizionamento delle finestre. Data la volontà di utilizzare serramenti di recupero, si ha la necessità di creare alloggiamenti che non necessariamente devono essere della dimensione del vano finestra. La sfida nell'uso di finestre già in circolazione sta nella difficoltà di adattare dei serramenti ad aperture che possono essere più grandi o più piccole. In questo caso, si potrebbero utilizzare, ad esempio, serramenti di dimensioni maggiori rispetto a quelle dei vani finestra: i serramenti verrebbero alloggiati in spazi creati appositamente nella contro-parete e verrebbero parzialmente sovrapposti alla muratura, che sarebbe così visibile attraverso il vetro.



6.1:  
*Listelli di supporto  
per l'isolante*



6.2:  
*Posizionamento  
dell'isolante*



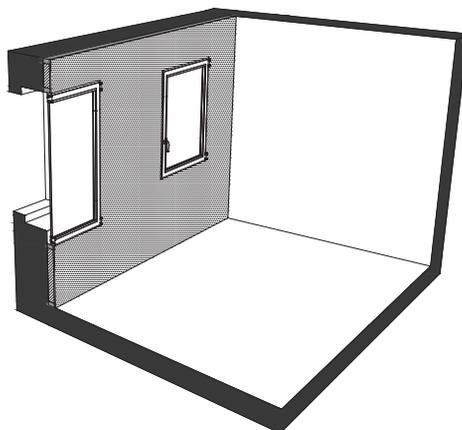
6.3:  
*Chiusura con  
pannelli di rivesti-  
mento*

Una soluzione di questo tipo risulta interessante sotto diversi punti di vista: sottolinea la filosofia che caratterizza l'intero progetto di recupero, ossia usare quello che c'è, e crea un peculiare gioco di sovrapposizione tra elementi in contrasto tra loro, generando oltretutto punti di vista diversi sulla muratura originaria.

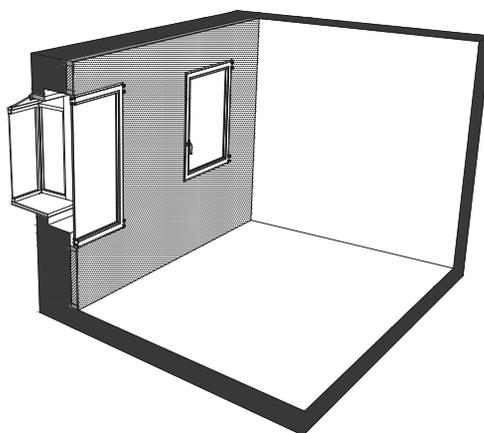
La contro-parete progettata è quindi composta da uno strato in materiale isolante inserito tra listelli - verticali e orizzontali -, una barriera al vapore sulla faccia interna e uno strato di finitura.

La soluzione per l'isolamento della parete è ideata per essere realizzata in continuità con l'isolamento della copertura, anch'esso posto sul lato interno. In questo caso, l'isolante è posizionato tra i travetti del tetto esistenti, e vengono riprese le stesse modalità per la posa della barriera al vapore e dello strato di finitura.

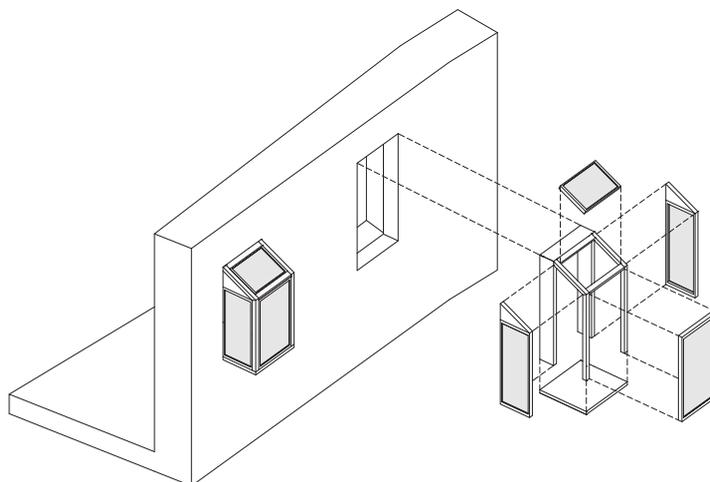
In entrambi i casi, essendo all'interno degli ambienti, si prevede che l'isolamento sia realizzato con materiali il più possibile ecocompatibili e che consentano la traspirazione delle murature esterne.



6.4:  
*Posizionamento  
dei serramenti  
interni*



6.5:  
*Serra sospesa*



6.6:  
*Serra sospesa -  
vista esterna ed  
esploso*

## Serra sospesa

In seguito alla definizione del sistema di isolamento interno, e in stretta correlazione con esso, è stata sviluppata l'idea di abbinare ai serramenti posizionati all'interno un sistema di serramenti aggettante verso l'esterno. Anche questa seconda idea è strettamente correlata con l'intenzione di utilizzare serramenti di recupero, che spesso non sono sufficientemente performanti da garantire i livelli di prestazione previsti dalle normative.

Il sistema composto da un serramento interno e una serra appesa all'esterno, come una sorta di *bow-window*, ha la funzione di fungere da collettore solare e di creare quindi uno spazio-cuscinetto che sia di mediazione tra interno ed esterno.

La serra appesa è ideata per agganciarsi all'interno del vano finestra esistente, in modo da non intaccare la muratura della facciata. Seguendo questa logica, quindi, la serra è come *incastrata* nel vano esistente e da esso prende le misure. Eventuali misure non compatibili dei serramenti di recupero potrebbero essere compensate con elementi opachi in legno oppure con ulteriori elementi strutturali paralleli alla muratura che consentano di ampliare la serra oltre la misura del vano finestra. In tutti i casi, però, l'aggancio avverrebbe all'interno, andando eventualmente a intercettare la contro-parete interna per il fissaggio.

L'elemento sporgente rispetto alla facciata è stato ideato per avere una struttura composta da un pannello in legno come base e da listelli, anch'essi in legno, che fungano da montanti verticali a cui fissare i serramenti. In base a un'eventuale disponibilità di elementi della giusta dimensione, sarebbe ideale realizzare anche la copertura superiore con un serramento, in modo da aumentare il guadagno solare. In tal caso, l'elemento di chiusura superiore dovrebbe essere posizionato con un'inclinazione tale da permettere il deflusso delle acque piovane.



## Serra appesa

Similmente e di fatto proprio a partire da quanto visto nella sezione precedente, alla serra sospesa è seguita la progettazione di una serra “appesa”, realizzata sul balcone della sala comune. Il progetto della serra più piccola si è dunque evoluto e ed è stato sviluppato per essere costruito a scala reale.

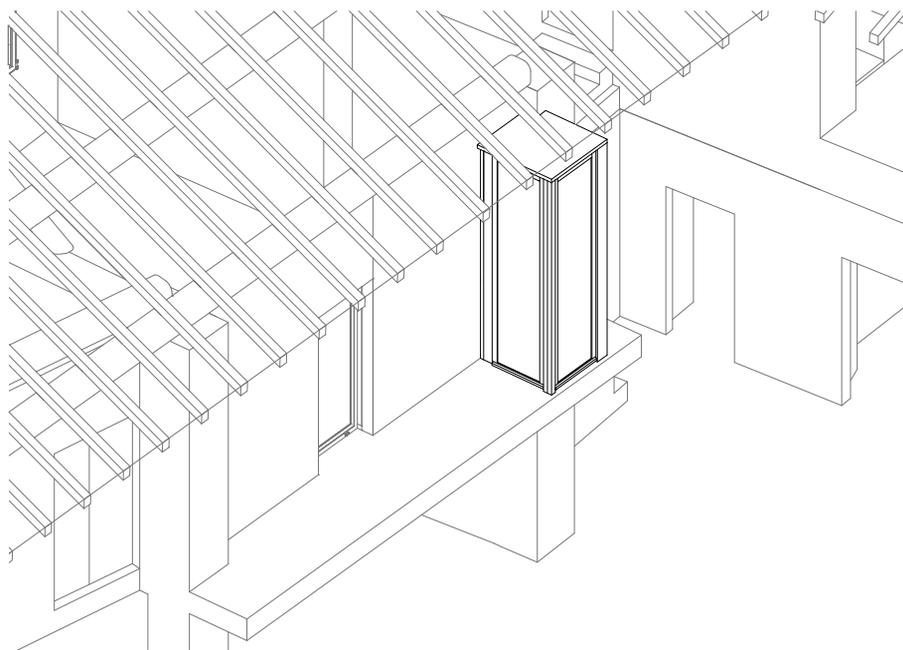
A giugno 2021, infatti, si è concretizzata la possibilità di costruire alcune parti delle tesi sviluppate nel Workshop, grazie alla collaborazione con Confindustria e la ditta CBS, che produce serramenti a Gerenzano (Saronno, VA). Inizialmente l’idea era dunque di costruire la serra sospesa, ma la difficoltà di realizzazione di un elemento aggettante rispetto alla facciata e collocato al primo piano hanno reso impossibile mettere in pratica questo progetto, anche dato il contesto accademico. In collaborazione con i docenti, i volontari di Casamatta e con Marco Zanini, tutor del Workshop di Tesi, si è deciso quindi di costruire un elemento simile, ma posizionato sulla struttura del balcone della sala comune, già provvista di alcuni elementi di rinforzo.

Si era dunque pensato di realizzare due serre, una per tesi, entrambe sul balcone. In un secondo momento però, per non interrompere la continuità del balcone, che dovrebbe essere ripristinato in futuro, si è scelto di posizionare una sola serra (altresì detta bow-window), che si estende a tutta altezza, in corrispondenza dell’apertura che si trova immediatamente adiacente alla scala che collega piano terra e primo piano, e di installare una più semplice doppia finestra in corrispondenza del vano al centro del balcone.

La serra così posizionata costituisce un elemento di sorpresa, ma anche di affaccio privilegiato all’interno della corte; in aggiunta, essendo rivolto a sud-est e vetrato su tre lati, il piccolo spazio aggiunto beneficia di un’ottima esposizione al sole. È così uno spazio fruibile in tutte le stagioni: in estate è possibile aprire le finestre per lasciar



6.7:  
*Foto storica della  
corte interna; è  
visibile il balcone  
prima degli inter-  
venti di rinforzo*



6.8:  
*Una delle prime  
ipotesi di serra*

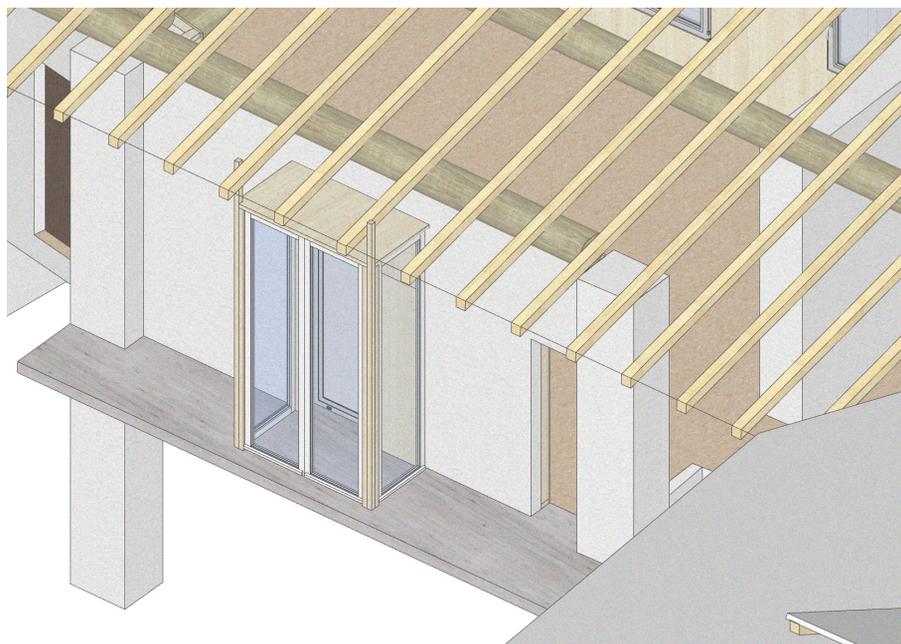
circolare l'aria, mentre in inverno è un ambiente naturalmente riscaldato dal calore del sole, come una sorta di giardino d'inverno.

Dal punto di vista della progettazione degli elementi, è stato inizialmente elaborato uno studio a livello più architettonico che costruttivo: questo è dovuto al fatto che non era possibile, per ragioni organizzative, conoscere in dettaglio prima dell'inizio del workshop tipo, qualità, quantità e dimensioni di tutti i materiali presenti sul luogo, in primis dei serramenti. Il primo progetto si basava infatti, ad esempio, sulla disponibilità di alcuni serramenti, che nei fatti non erano più disponibili al nostro arrivo a Casamatta; inoltre, il progetto avrebbe dovuto in qualsiasi caso essere modificato in modo da inserire dei serramenti apribili, che non erano disponibili prima dell'inizio dei lavori di costruzione.

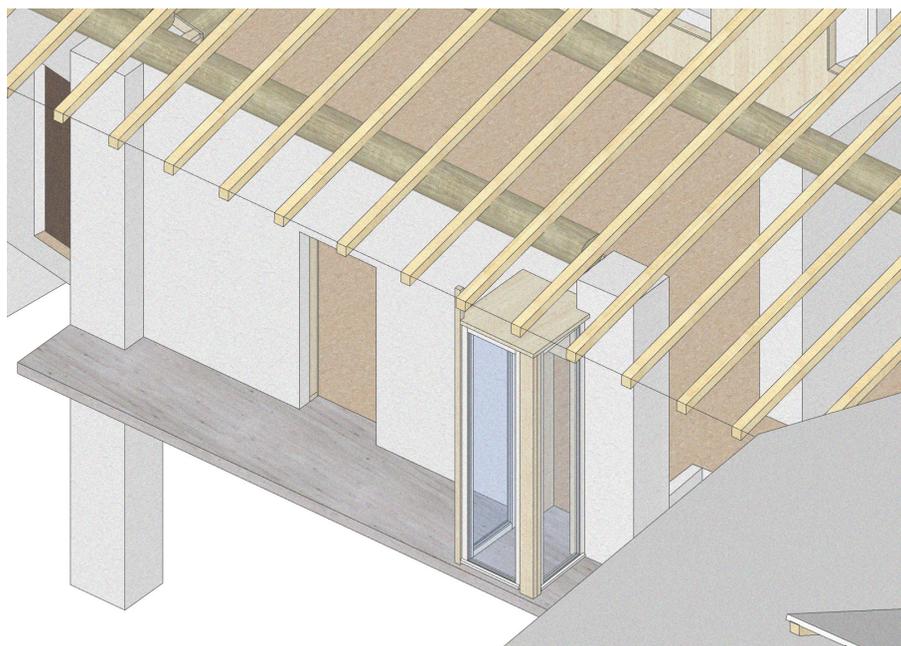
La prima idea di progetto, ancora in posizione centrale, prevedeva l'appoggio dei serramenti alla struttura del balcone e il fissaggio dell'estremità superiore dei montanti ai correnti del tetto. La serra era in questo caso composta da due serramenti fissi e due ipotetici serramenti apribili. Era quindi più larga rispetto all'apertura esistente, e per questo erano stati ipotizzati dei pannelli in legno accostati alla muratura che chiudessero su tutti i lati l'elemento aggiunto e che collegassero la struttura della serra alla struttura della contro-parete interna.

Nell'ipotesi successiva la serra è stata spostata nella posizione poi diventata definitiva. Le logiche costruttive sono le medesime del precedente caso, ma in questa configurazione, la serra era realizzata con tre serramenti uguali tra loro e degli elementi opachi in legno per compensare le differenze tra le misure dell'edificio e le misure dei serramenti. Gli elementi opachi erano necessari anche in virtù del fatto che lo spazio in cui andava collocata la serra è irregolare: su un lato dell'apertura si ha una muratura in mattoni molto sottile, sull'altro si trova un pilastro, più sporgente rispetto alla muratura.

In tutti i casi, le configurazioni proposte prevedevano alcuni



6.9:  
*Prima ipotesi di  
serra*

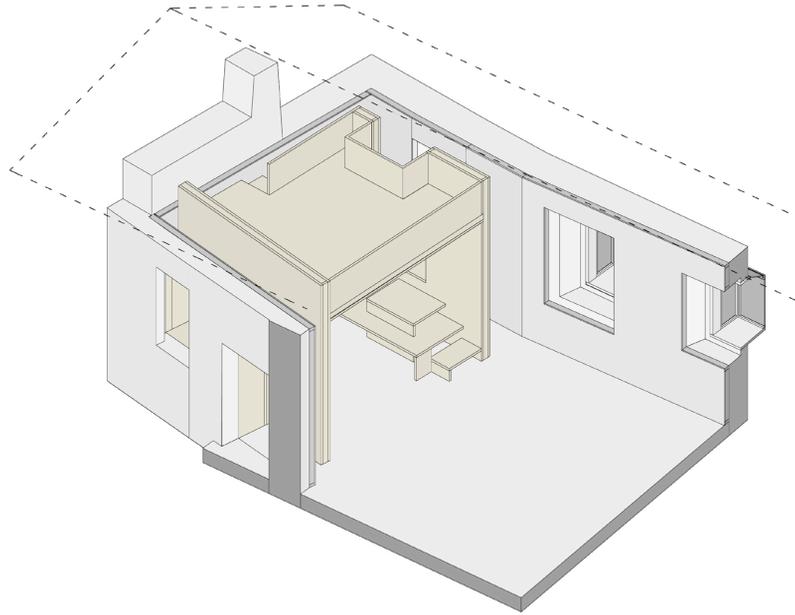


6.10:  
*Seconda ipotesi di  
serra, nella posi-  
zione definitiva*

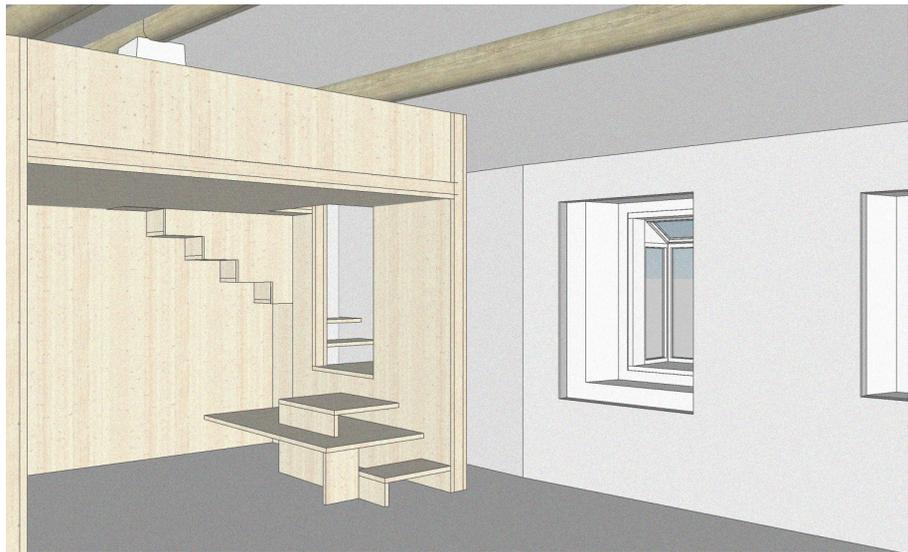
elementi in comune: portefinestre, quindi una serra a tutta altezza; elementi strutturali in legno; copertura opaca, dovuta alla presenza del tetto.

Come già detto, tali ipotesi prevedevano l'appoggio alla struttura del balcone e il fissaggio ai correnti del tetto. Questa soluzione risultava la più ragionevole da immaginare in assenza di informazioni precise sui materiali. Qualora fosse stata constatata l'impossibilità di appoggiare gli elementi al balcone, si sarebbe reso necessario studiare una struttura che consentisse l'aggancio alla contro-parete interna. In questo caso, tuttavia, sarebbe stato molto difficoltoso utilizzare i serramenti apribili a disposizione e si sarebbe posto un problema riguardante la resistenza della parete a cui la serra è accostata.

Come vedremo anche nell'ultimo capitolo, la versione definitiva e realizzata della serra è un insieme delle ipotesi elaborate precedentemente: ha circa le dimensioni della prima, ma si trova nella posizione della seconda.



6.11:  
*Assonometria della  
scatola*



6.12:  
*Vista della scatola*

## La stanza nella stanza

Il progetto comprende l'elaborazione di un'ipotesi di organizzazione dello spazio della sala comune. L'idea principale era di ideare un elemento - ripetibile, anche secondo configurazioni diverse, in altri spazi - che creasse ulteriori spazi vivibili: sfruttare, cioè, l'ampiezza e l'altezza della stanza per renderla fruibile a livelli diversi e secondo configurazioni diverse.

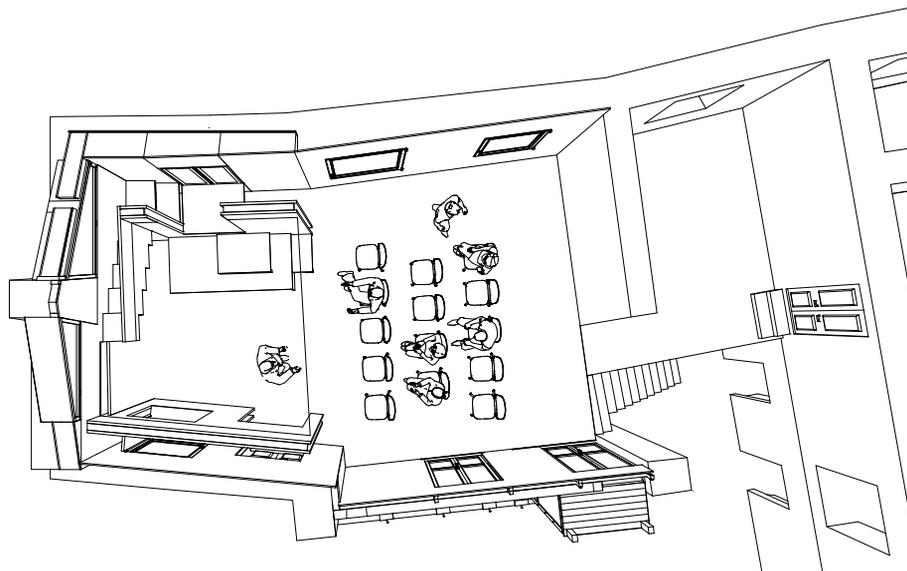
Una riconfigurazione della stanza di questo tipo consente di esperire lo spazio da punti di vista inediti e suggestivi: si crea un punto di osservazione privilegiato sull'intera stanza, che al contempo viene però suddivisa in ambienti più raccolti; inoltre, l'aggiunta di un livello fruibile più in alto permette di guardare verso l'esterno attraverso la bucatura triangolare che si forma tra tetto e muro. Tale apertura sarebbe altrimenti unicamente una presa di luce per l'ambiente.

L'inserimento di un dispositivo di questo tipo, per quanto non crei una separazione netta e totale tra gli ambienti, permette l'uso condiviso di uno spazio anche per lo svolgimento di attività diverse. Inoltre, la *scatola* dà luogo a un ambiente utile nel caso di lezioni o presentazioni, definendo l'area dei relatori e quella degli spettatori e fornendo uno spazio più protetto dalla luce solare in cui poter mostrare proiezioni.

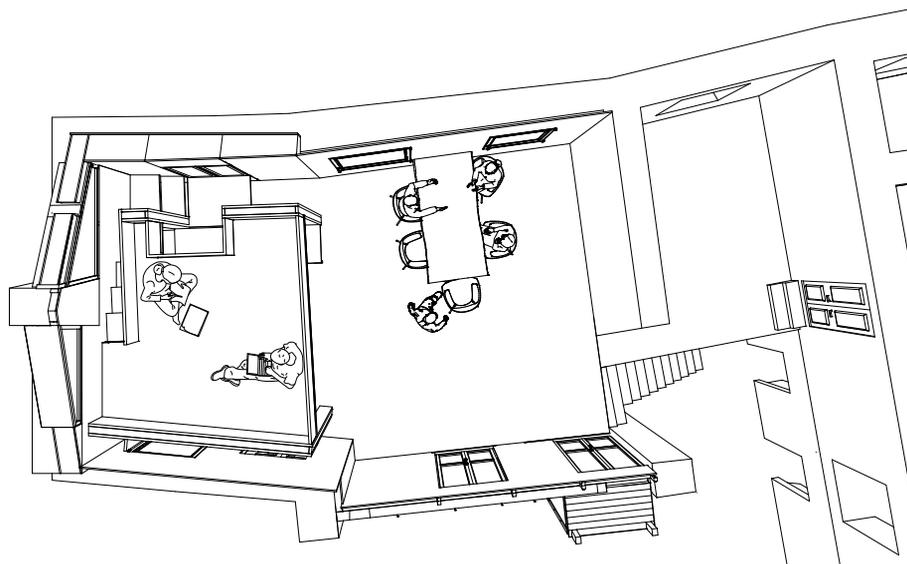
La sala comune, nelle occasioni di uso dell'ostello, si trasforma dunque in uno spazio in cui è possibile svolgere attività in gruppi o più individuali, grazie allo spazio più raccolto al piano superiore.

La *stanza nella stanza* vuole quindi essere sia uno spazio in sé che un elemento modificatore dello spazio esistente; non è astratta rispetto al suo contesto: con esso si relaziona in modi nuovi, da esso prende le forme e in esso si costruisce.

6.13:  
*Scenario di utilizzo  
dello spazio per le-  
zioni / conferenze*



6.14:  
*Scenario di utilizzo  
dello spazio come  
sala comune per  
l'ostello*



L'elemento aggiunto è delimitato da pareti su tre lati, due dei quali si distaccano dai muri dell'edificio, lasciando uno spazio libero di relazione tra i due elementi. Due dei lati sono percorsi dalla scala, il cui percorso parte dall'interno della scatola, per poi uscire dalla bucatina che mette l'interno in relazione con la finestra esistente e proseguire lungo la parete di fondo. Proprio salendo la scala si entra in relazione con la particolare bucatina triangolare descritta in precedenza.

Nell'ambiente che viene a determinarsi al piano inferiore, la prima parte della scala funge anche da seduta e spazio di convivialità, per poi creare giochi illusori lungo la parete di fondo, dove assume l'aspetto di una scala sottosopra.

Sul piano costruttivo, la scatola si compone di listelli in legno di dimensioni 4x10 cm - anche in questo caso, in caso di realizzazione il progetto si adatterebbe ai materiali disponibili - che formano la struttura a travi e pilastri, chiusa poi da pannellature in legno che creino superfici continue. Nuovamente sarebbe quindi il legno il materiale protagonista: tale scelta è determinata dalla forte probabilità che, qualora questo elemento dovesse essere realizzato, verrebbe costruito da persone non specializzate.

L'elemento che costituisce la scatola è pensato per essere removibile qualora le esigenze dovessero cambiare. L'assemblaggio tramite unioni avvitate o chiodate permetterebbero un semplice smontaggio e recupero dei pezzi, che potrebbero essere riutilizzati per altri scopi, secondo i principi del *Design for Deconstruction*.

6.15:  
*Vista della sala  
comune con la  
scatola*

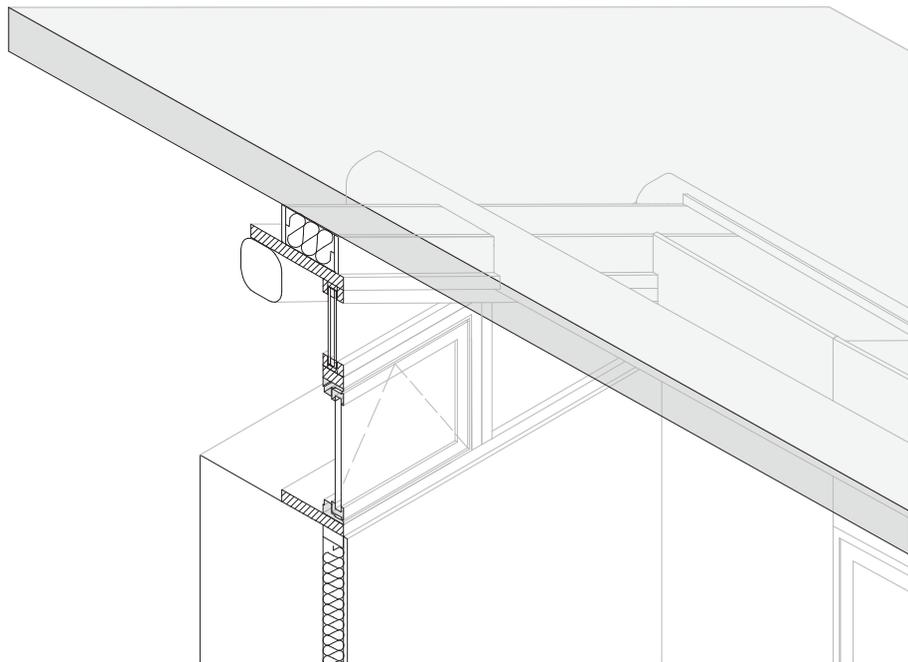




**6.16:**  
*Vista della stanza  
nella stanza - sce-  
nario sala lezioni /  
conferenze*



6.17:  
*Sezione prospettica  
 materica*



6.18:  
*Sezione assono-  
 metrica dell'ipotesi  
 con serramento  
 apribile*

## Finestra in polycarbonato

L'ultimo elemento progettato consiste nell'ideazione di un metodo di chiusura per la bucatina triangolare esistente tra tetto e muro. Il tamponamento risulta in questo caso problematica a causa della forma irregolare dell'apertura: il posizionamento di un vero e proprio serramento richiederebbe la realizzazione su misura, che poco si allinea con il pensiero che regola tutto il lavoro svolto a Casamatta.

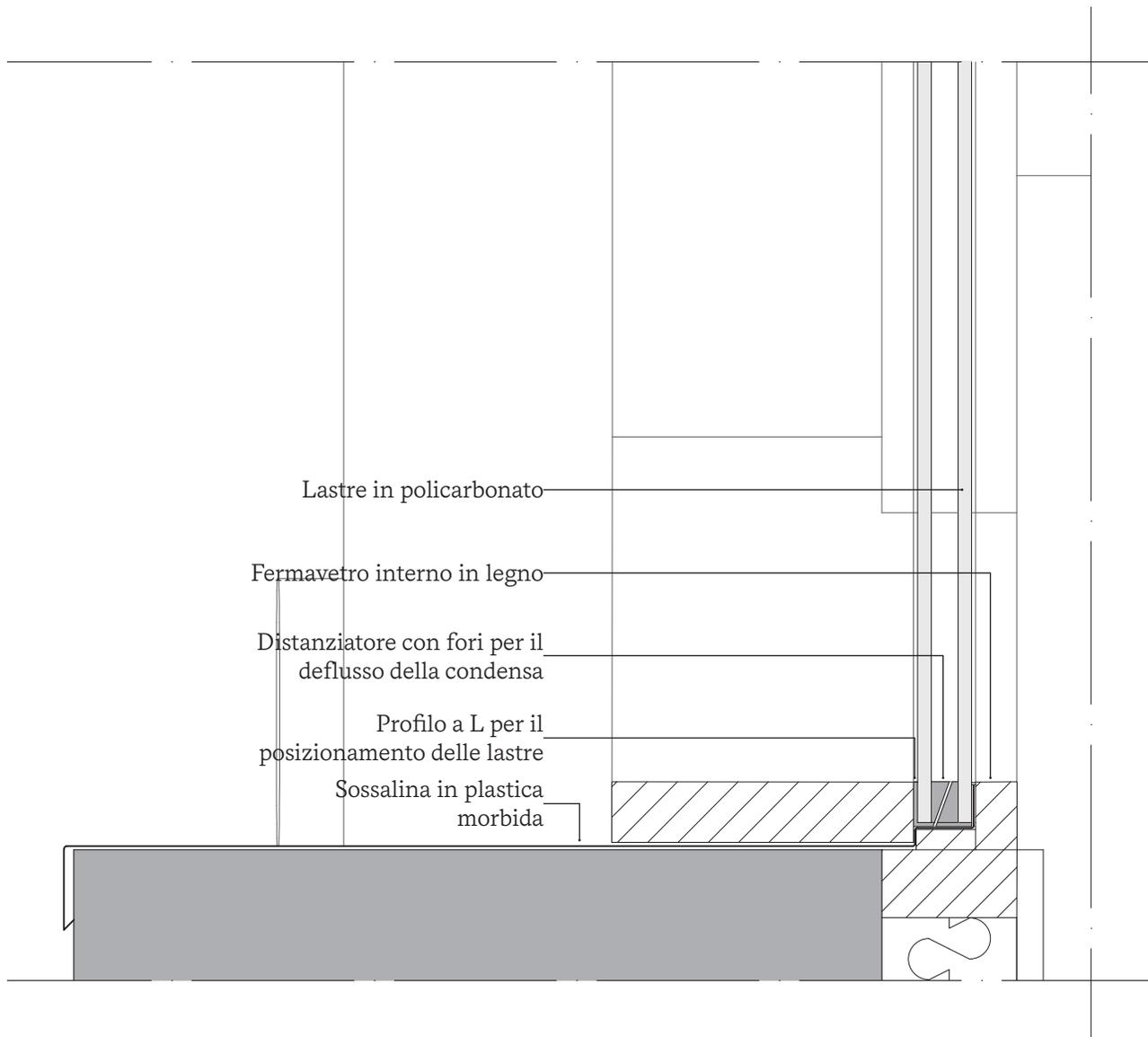
Per queste ragioni è nata l'idea di autocostruire una chiusura trasparente leggera in legno e polycarbonato, che sia realizzabile artigianalmente e di più facile installazione rispetto a un comune serramento.

Il progetto prevede quindi un telaio composto da listelli in legno, in cui vengono inseriti due pannelli in polycarbonato, opportunamente distanziati attraverso ulteriori listelli in legno trattato con preservanti o in legno di larice o in legno tostato, ossia tipi di legno che resistano all'umidità da condensa, che deriva dal fatto che la doppia parete in polycarbonato, essendo realizzata a mano, non sarebbe sigillata.

Sempre a causa della presenza di condensa, si rende necessario effettuare nel legno di distanziamento dei fori, in modo che l'acqua possa fuoriuscire verso l'esterno dell'edificio. Per la stessa ragione, è necessario l'inserimento, sul lato inferiore, di una scossalina in materiale plastico morbido che possa essere disposta in posizioni diverse in fase di montaggio per consentire l'assemblaggio dei vari elementi che compongono il telaio; questo elemento di protezione riveste tutto lo spessore del muro, in modo da evitare infiltrazioni d'acqua.

All'interno, una volta posizionate le lastre, si dovrebbe procedere al posizionamento di listelli fermavetro, sempre in legno.

Il telaio in legno è pensato per potersi ancorare alla contro-parete



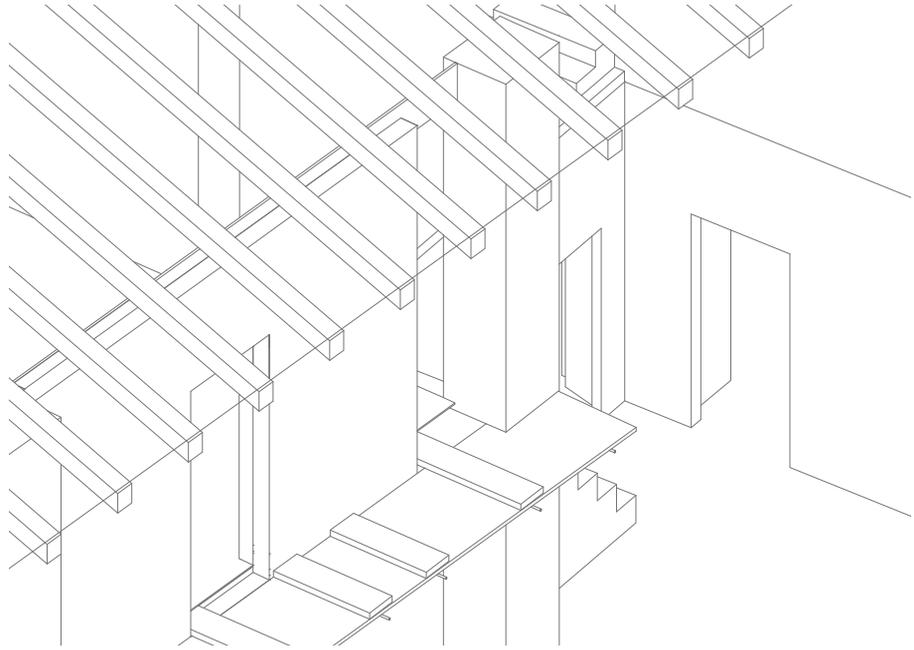
6.19:  
*Dettaglio del nodo  
inferiore - scala 1:5*

interna, realizzata per l'isolamento termico: questi due elementi sono così in continuità l'uno rispetto all'altro, formando un unico sistema, che comprende anche l'isolamento termico dello spazio attualmente presente tra correnti del tetto e puntone, corrispondente allo spessore della terza.

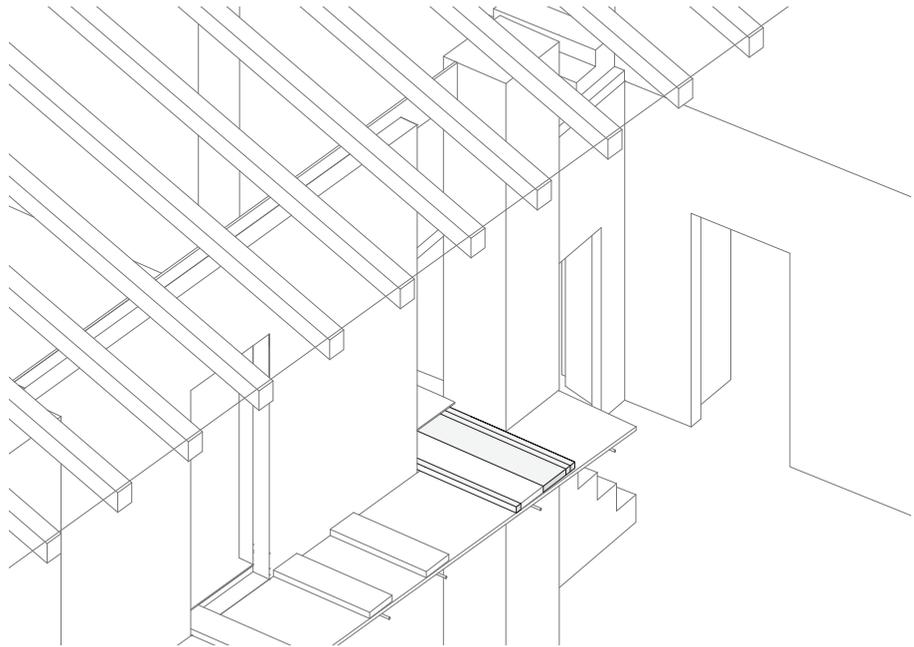
In fase di progetto sono state previste due possibilità: una prevede la realizzazione di due finestre, simmetricamente disposte ai due lati della trave di colmo, entrambe fisse. In questo caso, il vantaggio sarebbe la maggiore semplicità realizzativa, a fronte dell'impossibilità di utilizzare l'apertura per garantire ulteriore aerazione dell'ambiente. La seconda ipotesi prevede invece l'inserimento, nel pannello di polycarbonato, di un ulteriore telaio a supporto di un vero e proprio serramento apribile. La possibilità di utilizzare un serramento esistente garantisce dunque la tenuta all'aria e all'acqua, ma è subordinata alla reale disponibilità di serramenti adeguati alle esigenze, ma, soprattutto, alle dimensioni del vano esistente.



# COSTRUZIONE<sup>7</sup>



7.1:  
*Stato di fatto*



7.2:  
*Rinforzo della  
struttura I*

# Workshop di autocostruzione

*Casamatta, 26-31 luglio 2021*

L'ultima parte della tesi è consistita nella realizzazione della serra posizionata sul balcone della sala principale al primo piano dell'edificio.

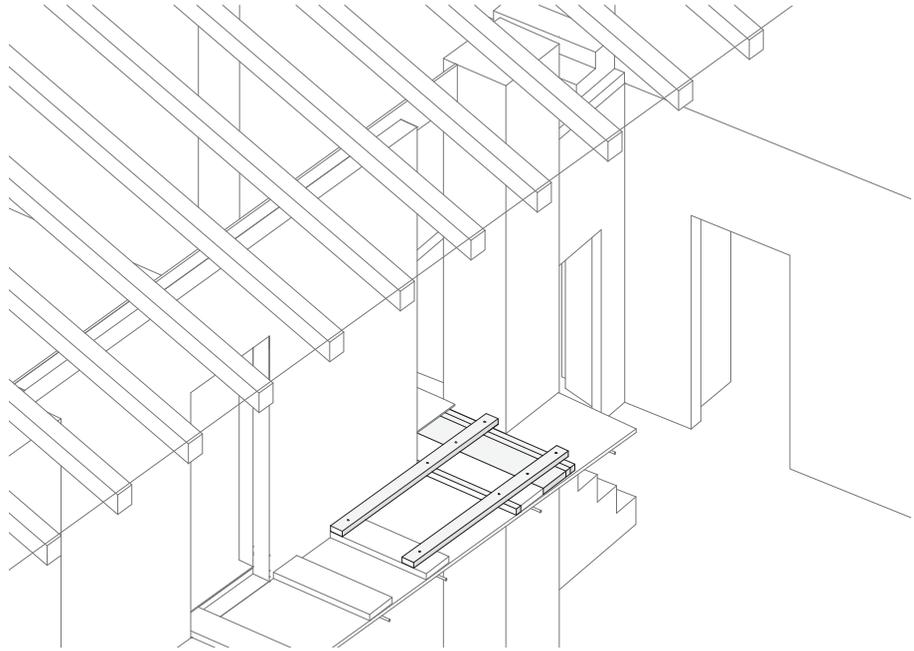
La serra è un elemento sporgente rispetto alla muratura, vetrato su tre lati e protetto dal tetto dell'edificio. All'interno è stato posizionato un serramento a doppia anta per creare uno spazio cuscinetto di accumulo del calore e che funga da mediazione tra l'interno e l'esterno.

Il progetto elaborato inizialmente è stato riadattato sul campo sulla base dei materiali presenti sul luogo - tutti di recupero - tra cui i quattro serramenti in legno.

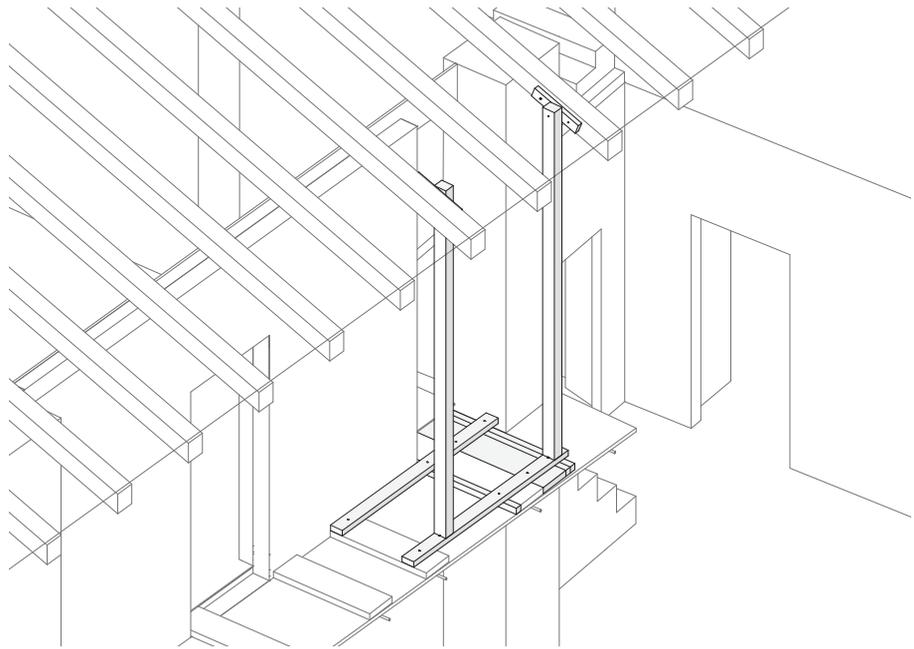
La prima operazione fondamentale è stata fare un inventario del materiale disponibile: erano infatti presenti numerosi tipi di legnami, che hanno reso necessaria una ricerca per trovare quelli più adatti alla costruzione.

In un primo momento sono state realizzate alcune necessarie opere di rinforzo della struttura esistente, costituita da alcune assi da ponte da 25x5 cm aggiunte durante i lavori di recupero e che percorrono tutto il solaio all'interno del vano e sporgono per formare la struttura di base per il balcone (fig.48), che verrà realizzato in una fase successiva. Le assi da ponte sono avvitate all'assito e alle travi secondarie del solaio. Sono dunque stati aggiunti un'asse da ponte uguale a quelle già esistenti e tre ulteriori listelli da 5x5 cm, due su un lato e uno sull'altro rispetto alle due assi da ponte (fig.49).

Una volta ottenuta una base solida in una direzione, sono stati posizionati due travetti di dimensioni 10x4,5 cm, che costituiscono l'appoggio per i serramenti (fig.50). Tali travetti sono stati fissati tramite viti che li collegano alle assi da ponte.



7.3:  
*Rinforzo della  
struttura II*



7.4:  
*Montanti verticali*

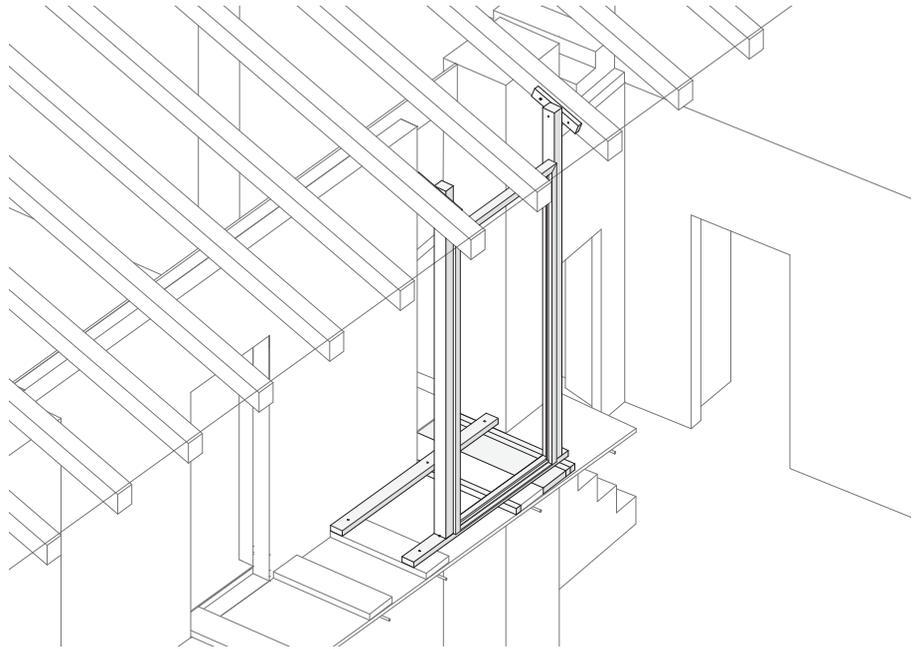
Anche se non era previsto, durante il secondo giorno l'apertura su cui stavamo lavorando è stata ampliata in altezza: la porzione di muratura sovrastante, composta da una singola fila di mattoni pieni, era apparentemente pericolante, quindi si è deciso di verificarne lo stato. Di fatto, appena scalpellando l'intonaco, ci si è resi conto che quella porzione di muro era molto instabile e si è così deciso di rimuoverla (anche per questioni di sicurezza, dovendo lavorare proprio in quel punto). (fig.58)

Si è quindi potuti passare al posizionamento dei montanti verticali della struttura di supporto, costituiti da elementi di dimensioni 10x8 cm (fig.51), fissati all'estremità superiore ai travetti del tetto e alla base ai travetti aggiunti; ad essi sono poi stati fissati il telaio fisso delle finestre apribili (fig.52) e le due finestre laterali fisse, avvitate (fig.53).

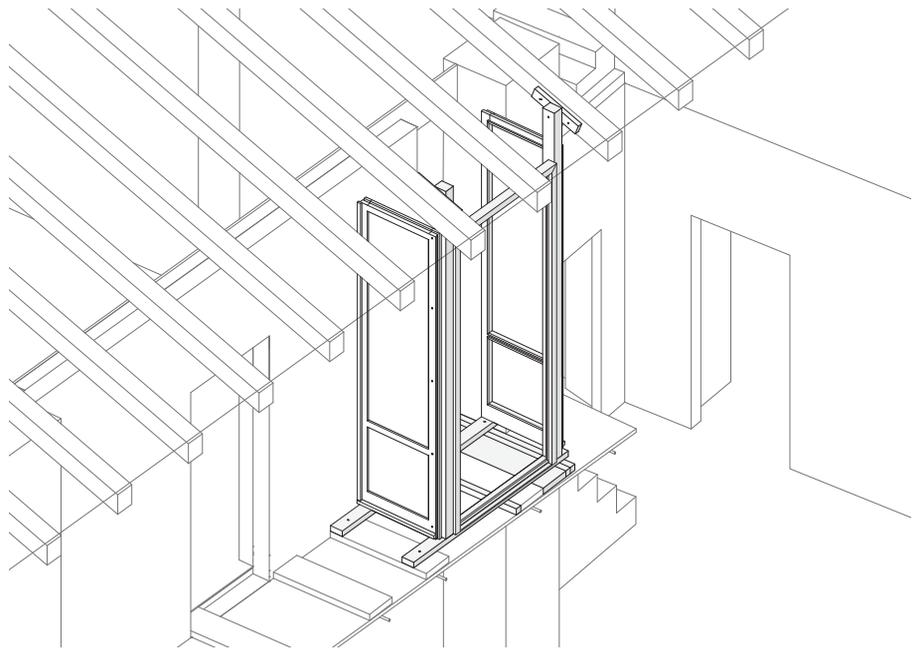
Infine sono state posizionate le due ante apribili (fig.54) ed è stata realizzata la copertura (fig.55) con perline da 10x2 cm inchiodate al telaio delle finestre laterali.

Le opere di finitura hanno poi previsto la realizzazione di un pavimento con una tavola in legno multistrato di spessore 2 cm (lasciando lo spazio per una eventuale successiva finitura con una pavimentazione) e la sigillatura dei giunti con materiale polimerico termoplastico trovato sul posto e materassini in gommapiuma che fungono da barriera al passaggio dell'aria e dell'acqua.

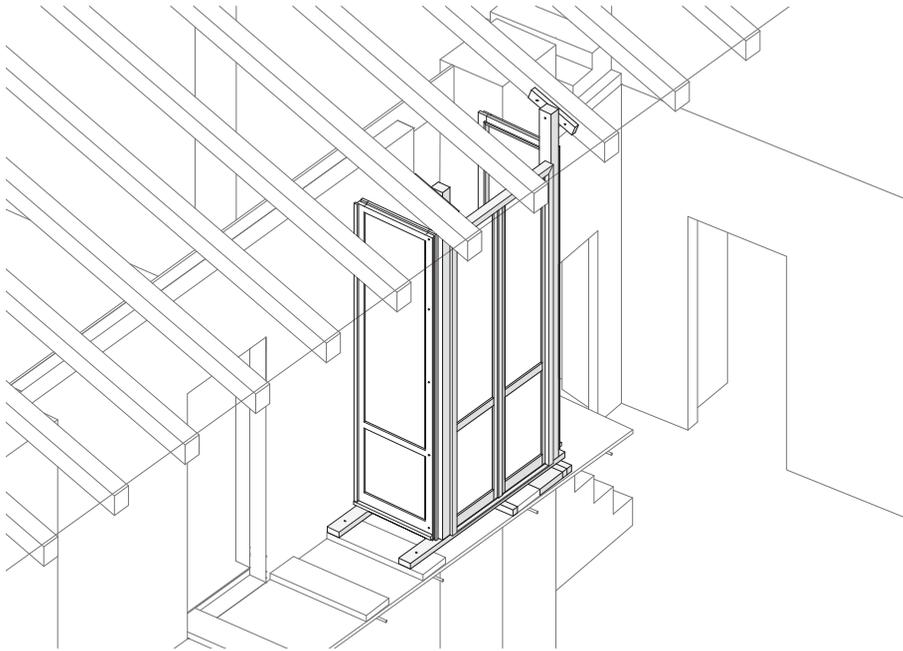
Di seguito sono visibili i disegni esplicativi delle fasi di costruzione e alcune foto scattate durante i lavori.



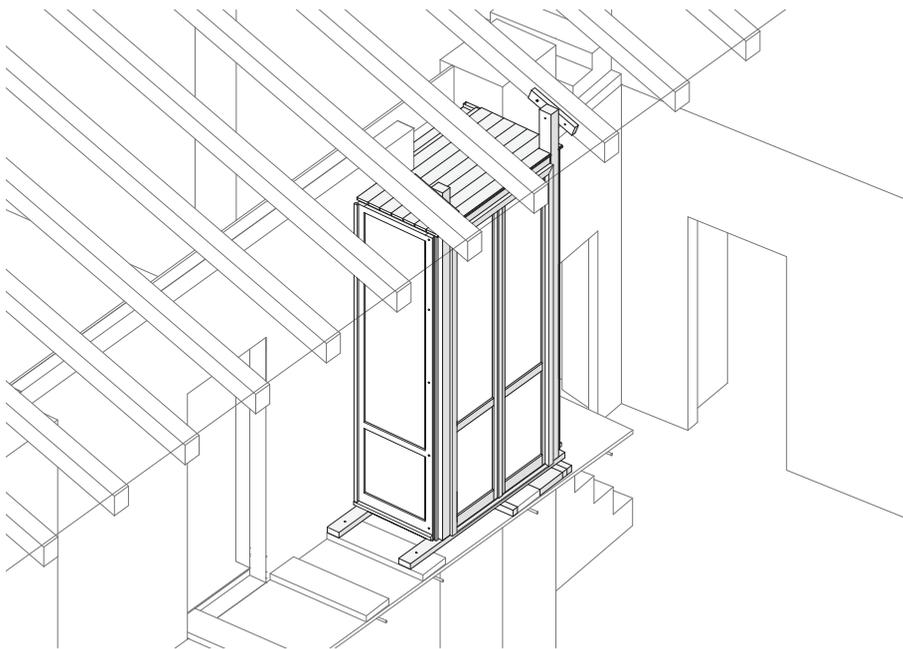
7.5:  
*Posizionamento  
del telaio fisso*



7.6:  
*Posizionamento  
dei serramenti fissi*



7.7:  
*Posizionamento  
dei telai mobili*



7.8:  
*Realizzazione della  
copertura e della  
chiusura sul lato  
interno*

7.9:  
*Posizionamento e  
fissaggio degli ele-  
menti di rinforzo*



7.10:  
*Composizione del  
solaio*





7.11:  
*Demolizione por-  
zione di muro*



7.12:  
*Prime prove di  
posizionamento  
dei serramenti*



7.13:  
*Prime prove di po-  
sizionamento del  
montante verticale*



7.14:  
*Serramenti e telaio  
fisso in relazione  
con il muro e il  
tetto dell'edificio*



7.15:  
*Relazioni tra ele-  
menti strutturali,  
serramenti e muro  
esistente*



7.16:  
*Posizionamento  
del tetto della serra*



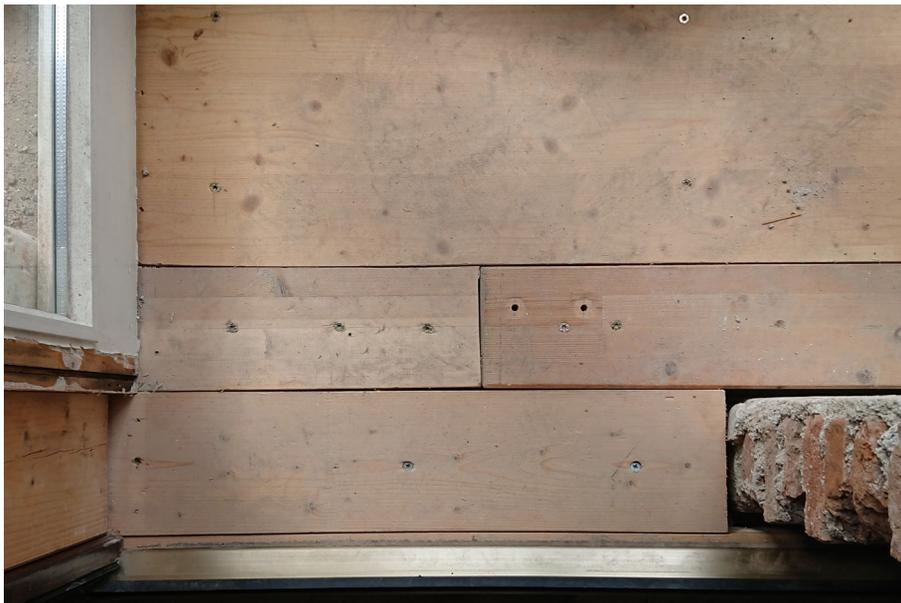
7.17:  
*Dettaglio della  
chiusura del lato  
superiore*



7.18:  
*Vista d'insieme dal  
lato opposto della  
corte*



7.19:  
*Dettaglio delle  
finiture*



7.20:  
*Dettaglio del  
pavimento e della  
soglia*

7.21:  
*Vista d'insieme  
dal lato opposto  
della corte dopo  
la rimozione del  
ponteggio*



7.22:  
*Vista della corte*

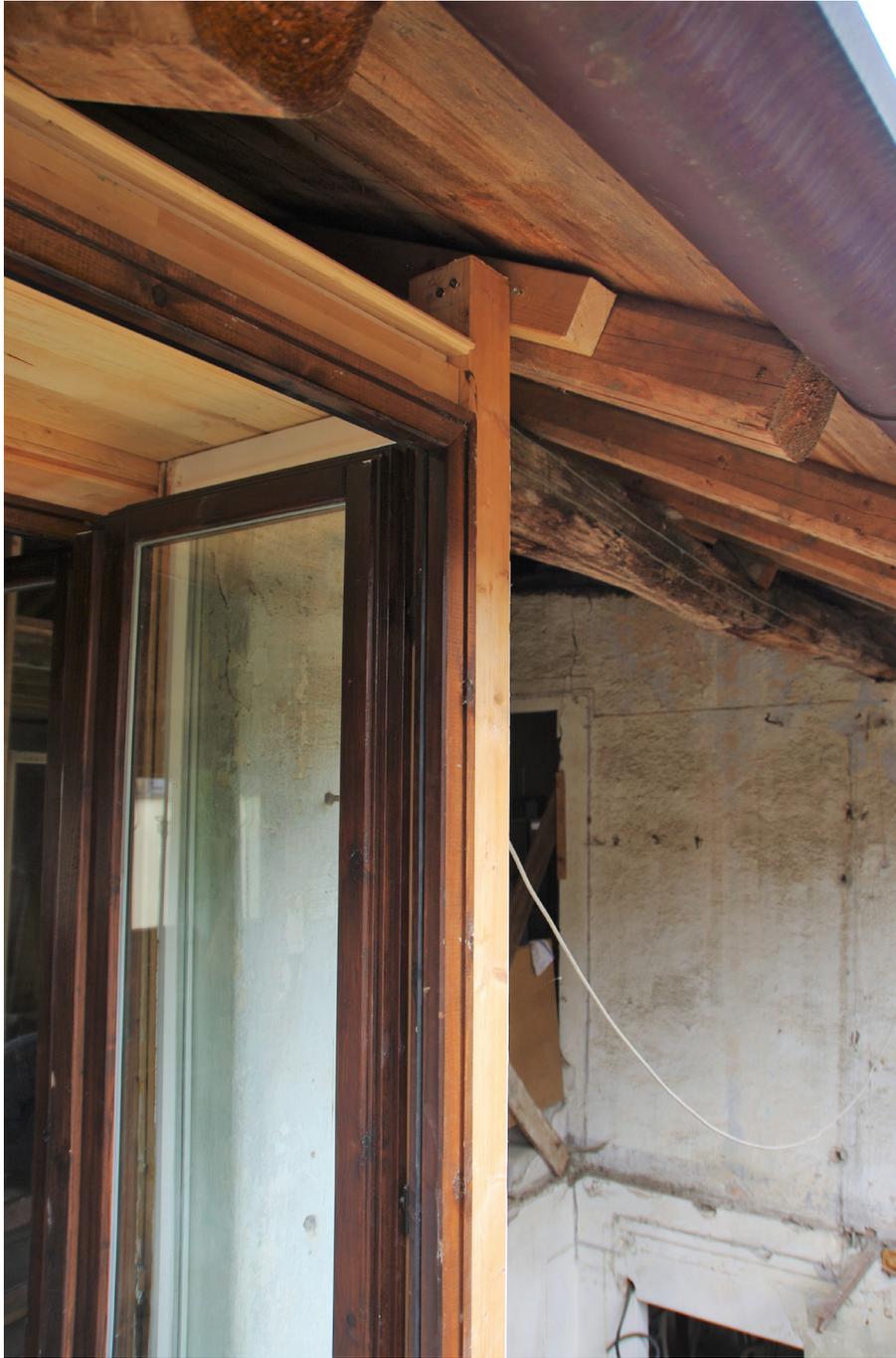




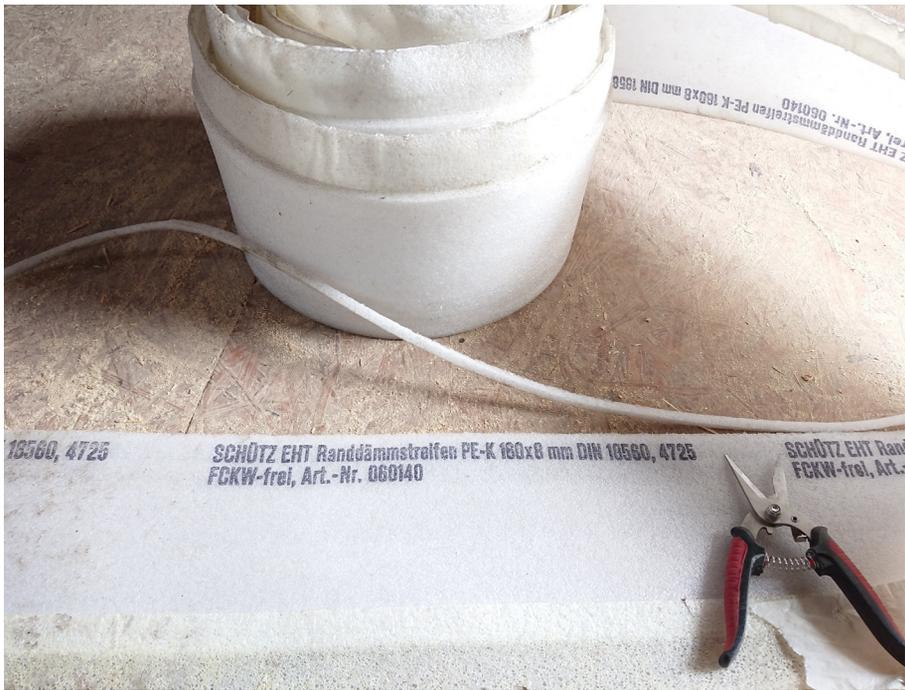
7.23:



7.24:  
7.25:  
*Viste del serramento interno*



7.26:  
*Dettaglio del nodo  
montante - corren-  
te - telaio*



7.27:  
7.28:  
7.29:  
*Inserimento dei  
materiali isolanti*





# Indice e fonti delle immagini

1.1: L'anello dei Molini di Gurone, 12: <https://casamattagurone.wordpress.com/>

1.2: Piena dell'Olona, 12: <https://casamattagurone.wordpress.com/>

1.3: La diga sull'Olona, 14: <https://parcovaalanza.mailchimpsites.com/diga>

1.4: Gli spazi ai Molini di Gurone, 14: <https://casamattagurone.wordpress.com/>

1.5: L'ex stalla, ora soggiorno aperto, 16: <https://casamattagurone.wordpress.com/>

1.6: Lavori di rifacimento del solaio dell'ex legnaia, 16: <https://casamattagurone.wordpress.com/>

1.7: Forno comune, 17: <https://casamattagurone.wordpress.com/>

1.8: Ex roggia molinara, 17: <https://casamattagurone.wordpress.com/>

2.1: Confronto tra economia lineare, economia del riciclo ed economia circolare, 22: <https://vlaanderen-circulair.be/en/infographics>

2.2: Confronto tra economia lineare e circolare - funzionalità dei materiali nel tempo, 24: <https://vlaanderen-circulair.be/en/infographics>

2.3: Diagramma rappresentante il flusso ciclico di materiali tecnici e biologici, 24: <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>

2.4: Pannello isolante termoacustico in lolla di riso e legante, Ricehouse, 26: <https://www.ricehouse.it/rh600>

2.5: Manav Sadhna Activity Center: CD al posto del vetro nella porta, 26: <https://www.re-thinkingthefuture.com/rtf-fresh-perspectives/a1476-junk-architecture-examples-of-buildings->

using-waste-materials-for-affordable-housing-spaces/  
2.6: Manav Sadhna Activity Center: bottiglie al posto dei mattoni, 26: <https://www.re-thinkingthefuture.com/rtf-fresh-perspectives/a1476-junk-architecture-examples-of-buildings-using-waste-materials-for-affordable-housing-spaces/>  
2.7: Vano scala, 28: <https://www.dezeen.com/2014/06/19/waste-house-by-bbm-architects-is-uks-first-permanent-building-made-from-rubbish/>  
2.8: Esterno, 28: <https://www.dezeen.com/2014/06/19/waste-house-by-bbm-architects-is-uks-first-permanent-building-made-from-rubbish/>  
2.9: Il vano scala nella Waste House, 30: <https://www.dezeen.com/2014/06/19/waste-house-by-bbm-architects-is-uks-first-permanent-building-made-from-rubbish/>  
2.10: VHS usate come isolante nelle pareti, 30: <https://www.dezeen.com/2014/06/19/waste-house-by-bbm-architects-is-uks-first-permanent-building-made-from-rubbish/>  
2.11: Spazi interni, 30: <https://www.dezeen.com/2014/06/19/waste-house-by-bbm-architects-is-uks-first-permanent-building-made-from-rubbish/>  
2.12: Fasi e materiali, 31: <https://www.dezeen.com/2014/06/19/waste-house-by-bbm-architects-is-uks-first-permanent-building-made-from-rubbish/>  
2.13: Dettaglio del muro di bottiglie riciclate, 32: <https://www.bi0n.eu/our-work/5-design-and-build-with-rlocal-and-recycled-materials>  
2.14: Foto del cantiere, 32: <https://www.bi0n.eu/our-work/5-design-and-build-with-rlocal-and-recycled-materials>  
2.15: Visione d'insieme della parete di finestre, 32: <https://www.bi0n.eu/our-work/5-design-and-build-with-rlocal-and-recycled-materials>  
2.16: Visione d'insieme della parete di terra, bottiglie e finestre di riuso, 34: <https://www.bi0n.eu/our-work/5-design-and-build-with-rlocal-and-recycled-materials>

2.17: Muro in sacchi di terra, 34: <https://www.bi0n.eu/our-work/5-design-and-build-with-rlocal-and-recycled-materials>

2.18: Vista della parete di finestre, 35: <https://www.bi0n.eu/our-work/5-design-and-build-with-rlocal-and-recycled-materials>

2.19: Dettaglio della parete di finestre, 35: <https://www.bi0n.eu/our-work/5-design-and-build-with-rlocal-and-recycled-materials>

2.20: Mappa della ricerca di materiali, 38

3.1: Principi alla base del progetto, 46: <https://gxn.3xn.com/project/circle-house-demonstrator>

3.2: Sistema costruttivo della Circle House, 46: <https://gxn.3xn.com/project/circle-house-demonstrator>

3.3: Circle House Demonstrator, Copenhagen, 48: <https://gxn.3xn.com/project/circle-house-demonstrator>

4.1: Pianta piano terra - stato di progetto. Include i progetti futuri per Casamatta, 52

4.2: Pianta piano primo - stato di progetto. Include i progetti futuri per Casamatta e quelli elaborati nella tesi, 52

4.3: Lo spazio destinato a ostello, al primo piano, 54

4.4: Lo spazio della ex legnaia, destinato a camera o casa del custode, 54: fotografia di uno dei colleghi del WoT

4.5: Il giardino interno, 54

4.6: Lo spazio destinato a cucina, 55:

4.7: Lo spazio destinato a soggiorno / biblioteca, 55:

4.8: Il giardino - ex roggia molinara, 55:

4.9-.10-.11-.12: La sala comune, 56:

5.1: Il tetto, 60

5.2: Rinforzo della capriata, 60

5.3: Il solaio inferiore della sala comune, 62

5.4: Dettaglio del solaio, 62

- 5.5: Muratura della facciata rivolta verso l'ex roggia, 63
- 5.6: Muratura nel patio interno, 63
- 5.7: Sezione del solaio, 67
- 5.8: Schema statico della trave secondaria, 71
- 5.9: Diagrammi di momento e taglio della trave secondaria, 72
- 5.10: Schema statico della trave principale, 75
- 5.11: Metodo di risoluzione della trave principale, 77
- 5.12: Diagrammi di momento (pagina precedente) e taglio della trave principale, 79
- 5.13: Valori di  $C_{pe}$  in base all'inclinazione dell'angolo  $\alpha$ , 85
- 5.14: Schema statico del travetto del tetto, 91
- 5.15: Metodo di risoluzione del primo tratto del travetto, 92
- 5.16: Metodo di risoluzione del secondo tratto del travetto, 92
- 5.17: Diagrammi di momento, taglio e azione assiale del travetto, 95
- 5.18: Schema statico della terza, 99
- 5.19: Metodo di risoluzione della terza, 99
- 5.20: Diagrammi di momento e taglio della terza, 102
- 5.21: Schema statico della trave di colmo, 103
- 5.22: Metodo di risoluzione della trave di colmo, 103:
- 5.23: Diagrammi di momento e taglio della trave di colmo, 107
- 5.24: Schema statico della capriata, 108
- 5.25: Risoluzione della capriata, 109
- 5.26: Diagrammi di azione assiale, taglio e momento del puntone, 111
- 5.27: Diagramma di azione assiale della catena, 111
  
- 6.1: Listelli di supporto per l'isolante, 118
- 6.2: Posizionamento dell'isolante, 118
- 6.3: Chiusura con pannelli di rivestimento, 118
- 6.4: Posizionamento dei serramenti interni, 120
- 6.5: Serra sospesa, 120
- 6.6: Serra sospesa - vista esterna ed esplosivo, 120
- 6.7: Foto storica della corte interna; è visibile il balcone prima

degli interventi di rinforzo, 124: <https://casamattagurone.wordpress.com/>

6.8: Una delle prime ipotesi di serra, 124

6.9: Prima ipotesi di serra, 126

6.10: Seconda ipotesi di serra, nella posizione definitiva, 126

6.11: Assonometria della scatola, 128

6.12: Vista della scatola, 128

7.1: Stato di fatto, 140

7.2: Rinforzo della struttura I, 140

7.3: Rinforzo della struttura II, 142

7.4: Montanti verticali, 142

7.5: Posizionamento del telaio fisso, 144

7.6: Posizionamento dei serramenti fissi, 144

7.7: Posizionamento dei telai mobili, 145

7.8: Realizzazione della copertura e della chiusura sul lato interno, 145

7.9: Posizionamento e fissaggio degli elementi di rinforzo, 146

7.10: Composizione del solaio, 146

7.11: Demolizione porzione di muro, 147

7.12: Prime prove di posizionamento dei serramenti, 147

7.13: Prime prove di posizionamento del montante verticale, 148

7.14: Serramenti e telaio fisso in relazione con il muro e il tetto dell'edificio, 149

7.15: Relazioni tra elementi strutturali, serramenti e muro esistente, 150

7.16: Posizionamento del tetto della serra, 151

7.17: Dettaglio della chiusura del lato superiore, 151

7.18: Vista d'insieme dal lato opposto della corte, 152

7.19: Dettaglio delle finiture, 153

7.20: Dettaglio del pavimento e della soglia, 153

7.21: Vista d'insieme dal lato opposto della corte dopo la rimozione del ponteggio, 154

7.22: Vista della corte, 154

7.23:, 155:

7.24 -.7.25: Viste del serramento interno, 156

7.26: Dettaglio del nodo montante - corrente - telaio, 157

7.27.-28.-7.29: Inserimento dei materiali isolanti, 158

Ove non specificata la fonte, si intende che l'immagine sia di produzione originale dell'autrice.

# Indice delle tabelle

- Tab. 5.1: Calcolo dei pesi degli elementi del solaio, 67:
- Tab. 5.2: Classi di servizio, 68:
- Tab. 5.3: Coefficienti  $\gamma_M$  per le proprietà dei materiali, 69:
- Tab. 5.4: Valori di  $k_{mod}$  per legno, 69:
- Tab. 5.5: Proprietà trave secondaria, 74:
- Tab. 5.6: Valori dei carichi puntuali e loro distanze assolute dal nodo A, 76:
- Tab. 5.7: Proprietà trave principale, 76:
- Tab. 5.8: Reazioni vincolari e momento della trave principale, 78:
- Tab. 5.9: Verifiche a taglio e flessione, 79:
- Tab. 5.10: Calcolo dei carichi corrispondenti alla stratigrafica del tetto, 83:
- Tab. 5.11: Zone per la definizione della velocità del vento, 84:
- Tab. 5.12: Parametri per definire il coefficiente di esposizione, 85:
- Tab. 5.13: Determinazione dell'azione da vento, 86:
- Tab. 5.14: Valori di CE per diverse classi di esposizione, 87:
- Tab. 5.15: Determinazione dell'azione da neve, 88:
- Tab. 5.16: Valori di sovraccarico per categorie d'uso, 89:
- Tab. 5.17: Coefficienti parziali nelle combinazioni SLU, 90:
- Tab. 5.18: Componenti parallela e perpendicolare alle falde dei carichi allo SLU, 90:
- Tab. 5.20: Azioni allo SLU, 91:
- Tab. 5.21: Valori delle reazioni vincolari, 94:
- Tab. 5.22: Verifiche a taglio, flessione, trazione e compressione del travetto, 97:
- Tab. 5.23: Caratteristiche della terza, 98:
- Tab. 5.24: Forza trasmessa alla terza da ogni travetto, 98:
- Tab. 5.25: Carichi, momenti e reazioni agenti sulla terza, 100:
- Tab. 5.26: Verifica a taglio e flessione, 101:

Tab. 5.27: Caratteristiche della trave di colmo, 103:

Tab. 5.28: Carichi, momenti e reazioni agenti sulla trave di colmo, 106:

Tab. 5.29: Verifica a taglio e flessione della trave di colmo, 107:

Tab. 5.30: Carichi, momenti e reazioni agenti sulla trave di colmo, 111:

Tab. 5.32: Verifica ad azione assiale della catena, 112:

Tab. 5.31: Verifiche a taglio, flessione e azione assiale dei puntoni, 112:

Tab. 5.32: Verifica ad azione assiale della catena, 112:

# Bibliografia

3XN (2020). *Circularity city – Shaping our urban future*

Allen, E. (1992), *Architectural Detailing - Function, Constructibility, Aesthetics*, John Wiley & Sons

Allen, E. (2005). *How Buildings Work. The natural order of architecture*, terza edizione, Oxford University Press

Alward, R., Shapiro, A. (1980), *Low-cost passive solar greenhouses. A design and construction guide*, Ncat (USA)

ARUP (2016). *The Circular Economy in the Built Environment*

Baker, N. (2015). *The Handbook of Sustainable Refurbishment: Non-Domestic Buildings*, Routledge

Bartok, J.W. et al (1984), *Solar greenhouses for the home*, NRAES (USA)

Battistella, A., Marazzi, V., Trabattoni, L. (2018), *Design and Build with Local and Recycled Materials*, BIØN e ARCò

Brunetti, G.L. (2007). *Architettura pratica: elementi tecnici per le costruzioni edili, vol.2*, Napoli, Sistemi editoriali

Chiras, D.D. (2006). *The Homeowner's Guide to Renewable Energy*, New Society Publishers

Gangemi, V., a cura di (2004). *Riciclare in architettura: scenari innovativi della cultura del Progetto*, Napoli, CLEAN

Green Building Council Italia (2019). *Economia circolare in edilizia*

Guy, B., Ciarimboli, N. (2008). *DfD Design for Disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building*, University Park, Penn, Hamer Center, USA

- GXN, Responsible Assets (2018). *Circle House – Denmark’s first circular housing project*, KLSPurePrint (DK)
- Heinrich, M., Lang, W. (2019). *Materials passports – Best Practice. Innovative solutions for a Transition to a Circular Economy in the Built Environment*, TUM, Monaco
- Historic England (2016). *Energy Efficiency and Historic Buildings. Insulating Solid Walls*
- Jurina, L. (2004), *Il consolidamento degli edifici rurali*, in Edilizia rurale – materiali e tecniche di intervento, Milano, 26 maggio 2004
- Munari, B. (1999). *Spazio abitabile*, Gruppo Q Cultura degli Interni e Politecnico di Milano
- Natterer, j., Herzog, T., Volz, M. (1999), *Atlante del Legno*, in *Grande atlante di Architettura*, Torino, UTET
- Rizzotti, A. (2019). *Guida tecnica al recupero e riuso dei materiali da costruzione*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli
- Strickler, D.J. (1982). *Passive solar retrofit: how to add natural heating and cooling to your home*, New York, Van Nostrand Reinhold
- Ufficio Tecnico Assolegno, a cura di (2017). *Appunti per le costruzioni in legno: normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*
- Van Hinte, E., Peeren, C., Jongert, J. (2007). *Superuse: constructing new architecture by shortcutting material flows*, Rotterdam, 010 Publishers

# Sitografia

<https://lanellosulfiume.blogspot.com/>

[https://sites.google.com/site/legambienteva/  
unosguardosottoilponte](https://sites.google.com/site/legambienteva/unosguardosottoilponte)

<https://casamattagurone.wordpress.com/>

[https://archinect.com/features/article/150067785/recycled-  
buildings-how-to-design-for-disassembly](https://archinect.com/features/article/150067785/recycled-buildings-how-to-design-for-disassembly)

[https://weburbanist.com/2018/11/21/designed-for-disassembly-  
architecture-built-with-its-own-end-in-mind/](https://weburbanist.com/2018/11/21/designed-for-disassembly-architecture-built-with-its-own-end-in-mind/)

[www.ar-co.org](http://www.ar-co.org)

[www.bi0n.eu](http://www.bi0n.eu)

<https://www.archdaily.com/tag/recycled-materials>

[https://www.epa.gov/smm/fact-sheets-designing-disassembly-  
and-deconstruction-buildings?utm\\_medium=website&utm\\_  
source=archdaily.com](https://www.epa.gov/smm/fact-sheets-designing-disassembly-and-deconstruction-buildings?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com)

[http://www.buildup.eu/en/news/environmental-footprint-and-  
circularity-construction-sector](http://www.buildup.eu/en/news/environmental-footprint-and-circularity-construction-sector)

[https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/02/  
Creating-Buildings-with-Positive-Impacts.pdf](https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/02/Creating-Buildings-with-Positive-Impacts.pdf)

[https://www.buildup.eu/en/news/overview-buildings-  
material-banks-bamb-outcomes-end-research-cycle?utm\\_  
medium=website&utm\\_source=archdaily.com](https://www.buildup.eu/en/news/overview-buildings-material-banks-bamb-outcomes-end-research-cycle?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com)

[https://www.archdaily.com/943366/a-guide-to-design-for-  
disassembly?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.archdaily.com/943366/a-guide-to-design-for-disassembly?ad_source=search&ad_medium=search_result_all)

<https://www.archdaily.com/943547/alfondac-community->

warehouse-and-guest-housing-for-travelers-aixopluc?ad\_source=search&ad\_medium=search\_result\_all

[https://www.archdaily.com/880888/architectural-upcycling-3-materials-that-turn-trash-into-low-cost-construction-elements?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.archdaily.com/880888/architectural-upcycling-3-materials-that-turn-trash-into-low-cost-construction-elements?ad_source=search&ad_medium=search_result_all)

[https://rotordc.com/?utm\\_medium=website&utm\\_source=archdaily.com](https://rotordc.com/?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com)

[https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment?utm\\_medium=website&utm\\_source=archdaily.com](https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com)

<https://www.archdaily.com/tag/adtopic-2020-recycled-materials>

[https://www.archdaily.com/949478/an-experiment-of-light-assembly-construction-yuan-ye-architects?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.archdaily.com/949478/an-experiment-of-light-assembly-construction-yuan-ye-architects?ad_source=search&ad_medium=search_result_all)

[https://www.archdaily.com/882010/st-miquel-19-reforma-de-vivienda-carles-oliver?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.archdaily.com/882010/st-miquel-19-reforma-de-vivienda-carles-oliver?ad_source=search&ad_medium=search_result_all)

<http://www.atlasofinteriors.polimi.it/2015/11/20/umberto-riva-serramente-serra-xviii-triennale-di-milano-1986/>

<https://gxn.3xn.com/>

<https://projects.superuse-studios.com/>

<http://reburg.world/reversible-building-design.html>

<https://www.dezeen.com/2014/06/19/waste-house-by-bbm-architects-is-uks-first-permanent-building-made-from-rubbish/>

<https://sdgs.un.org/goals>

<https://vlaanderen-circulair.be/en>

<https://ellenmacarthurfoundation.org/>

<https://www.circulardesignguide.com/>

<https://www.tondo.tech/>

<https://www.coverd.it/realizzazioni/sottotetto-con-pannelli-in-sughero-e-finitura-in-legno/>

<https://www.ricehouse.it/>

<https://www.circuit-project.eu/>

<https://vandkunsten.com/en/projects/circle-house>



*Un grazie ai miei relatori, anche per l'opportunità di sperimentare con mano come si costruisce.*

*Grazie agli amici e a chi mi ha accompagnata in questo percorso, facendomi scoprire interessi e passioni che non credevo di avere.*

*Infine, grazie a Luca, anche se lui già lo sa.*