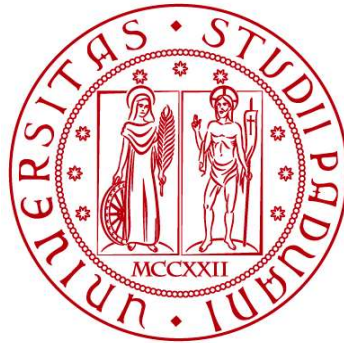


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
*Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering*

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



**TESI DI LAUREA**

**PROGETTAZIONE DI UN RIFUGIO ECOSOSTENIBILE  
AD ALTA QUOTA**

Relatore:

Chiar.mo PROF. GIORGIO CROATTO

Correlatori:

Chiar.mo PROF. PAOLO ZAMPIERI

Laureando:

MARCO LAZZARI

1237199

**ANNO ACCADEMICO 2023-2024**





## Sommario

1	I rifugi alpini.....	11
1.1	Caratteristiche generali .....	12
1.2	Cenni storici .....	18
1.3	I Club Alpini e il CAI.....	22
2	Tecniche costruttive in ambienti ostili .....	28
2.1.	I rifugi della tradizione .....	30
2.1.1.	Rifugio Nuvolau .....	31
2.1.2.	Rifugio Lagazuoi.....	34
2.1.3.	Rifugio Scoiattoli .....	37
2.2.	I rifugi moderni .....	40
2.2.1.	Monte Rosa Hütte.....	40
2.2.2.	Rifugio Gouter.....	45
2.2.3.	Rifugio Sasso Nero.....	50
2.2.4.	Rifugio Gonella al Dôme.....	55
2.3.	I bivacchi moderni .....	65
2.3.1.	Bivacco Clapier.....	66
2.3.2.	Nuova Capanna Gervasutti .....	71
3	Caratteristiche dei rifugi moderni .....	78
3.1.	Contesto paesaggistico .....	78
3.2.	Ecosostenibilità .....	79
	· Materiali.....	79
	• Impianti.....	81
	• Riciclo.....	83

4	IL PROGETTO.....	85
4.1.	Obiettivi .....	85
4.2.	Scelta del sito.....	85
4.2.1	Posizionare il rifugio lungo un'Alta Via.....	88
4.2.2	POSIZIONARE IL RIFUGIO IN UNA ZONA POCO FREQUENTATA .....	93
4.3	Caratteristiche del sito.....	100
4.4	Determinazione dei carichi accidentali .....	105
4.4.1	Azione della neve ( $q_s$ ).....	105
4.4.2	Azione del vento ( $q_p$ ) .....	105
4.4.3	Carichi variabili ( $q$ ).....	107
4.4.4	Azione sismica (E).....	107
5	Descrizione generale dell'edificio.....	111
5.1	Tipologia costruttiva e struttura portante .....	113
5.2	Analisi dei carichi .....	118
5.2.1	Primo solaio .....	118
5.2.2	Copertura.....	120
5.3	Dimensionamento elementi principali.....	121
5.3.1	Primo solaio .....	121
5.3.2	Copertura.....	128
5.3.3	Pilastri.....	155
5.3.4	Pareti .....	159
5.3.5	Controventi metallici .....	166
5.3.6	Fondazioni .....	169
6	Dotazioni tecnologiche e sostenibilità energetica .....	182

6.1	Isolamento termico.....	182
6.2	Serra solare.....	187
6.3	Energia elettrica .....	189
6.4	Riscaldamento .....	193
6.5	Raccolta e smaltimento delle acque.....	194
7	Viste Rifugio Crëp das Dodesc.....	195
8	Conclusioni .....	197
9	Bibliografia: .....	200
10	Sitografia: .....	201

Indice delle figure:

Figura 1: Rifugio Locatelli alle Tre Cime di Lavaredo .....	11
Figura 2: Rifugio dell'Alpetto al Monviso, il primo del CAI (2268 m s.l.m.) .....	19
Figura 3: Storico rifugio Colle del Teodulo .....	20
Figura 4: Bivacco Perugini e Campanile della Val Montanaia, Cimolais (PN) ..	21
Figura 5: Logo del Club Alpino Italiano (CAI) .....	24
Figura 6: Foto storica della Capanna osservatorio Regina Margherita (4554 m s.l.m.) .....	27
Figura 7: Rifugio Nuvolau (2574 m s.l.m.) .....	32
Figura 8: Rifugio Lagazuoi (2752 m s.l.m.) .....	34
Figura 9: Rifugio Scoiattoli (2255 m s.l.m.) .....	37
Figura 10: Monte Rosa Hütte (2883 m s.l.m.) .....	40
Figura 11: Dettaglio stratigrafia parete Monte Rosa Hütte .....	42
Figura 12: Piante e prospetti del Monte Rosa Hütte .....	44
Figura 13: Rifugio Gouter (2835 m s.l.m.) .....	45
Figura 14: Immagine del Rifugio Gouter durante la fase di costruzione .....	46
Figura 15: panoramica della collocazione del Rifugio Gouter .....	46
Figura 16: interni del Rifugio Gouter .....	47
Figura 17: struttura portante del Rifugio Gouter .....	47
Figura 18: Sezione e pianta rappresentativa del Rifugio Gouter .....	49
Figura 19: Rifugio Sasso Nero (3026 m s.l.m.) .....	50
Figura 20: Interni rifugio Sasso Nero .....	51
Figura 21: Piante del Rifugio Sasso Nero .....	54
Figura 22: Rifugio Gonella al Dome (3072 m s.l.m.) .....	55
Figura 23: Pianta delle fondazioni del Rifugio Gonella .....	56
Figura 24: Struttura portante del Rifugio Gonella .....	57
Figura 25: Dettaglio elementi di sostegno plateatico nel Rifugio Gonella .....	57
Figura 26: Stratigrafia pareti Rifugio Gonella .....	58
Figura 27: Dettagli unione pareti negli spigoli dell'involucro del Rifugio Gonella .....	59

Figura 28: Dettagli unione pareti negli spigoli dell'involucro del Rifugio Gonella .....	60
Figura 29: Pannelli solari ad aria installati nel Rifugio Gonella .....	61
Figura 30: Sezione trasversale Rifugio Gonella .....	63
Figura 31: Schema controventi in acciaio sulle vetrate del Rifugio Gonella .....	64
Figura 32: Foto rappresentativa di un bivacco.....	65
Figura 33: Bivacco Clapier (2477 m s.l.m.).....	66
Figura 34: Processo produttivo del Bivacco Clapier .....	67
Figura 35: Assemblaggio del Bivacco Clapier con elicottero.....	67
Figura 36: Dettaglio stratigrafia pareti e isolamento del Bivacco Clapier.....	68
Figura 37: Render dell'interno del Bivacco Clapier.....	69
Figura 38: Posizionamento posti letto del Bivacco Clapier .....	70
Figura 39: Nuova Capanna Gervasutti (2835 m.s.l.m.) .....	71
Figura 40: Assemblaggio moduli Capanna Gervasutti tramite elicottero .....	72
Figura 41: Interni Nuova Capanna Gervasutti .....	73
Figura 42: Prospetto e sezioni Nuova Capanna Gervasutti.....	76
Figura 43: eco-hotel prefabbricato LEAPrus 3912 (Russia, 3912 m.s.l.m.).....	77
Figura 44: Paesaggio sul massiccio del Sella- Piz Boè (3152 m.s.l.m.) .....	88
Figura 45: Percorso escursionistico tra il Rifugio Boè e il Rifugio Pisciadù e posizione (azzurra) del nuovo fabbricato.....	90
Figura 46: Andamento altimetrico tra Rifugio Boè e Rifugio Pisciadù .....	90
Figura 47: inquadramento ipotetica posizione del nuovo rifugio sul Sella (2950 m.s.l.m.).....	91
Figura 48: posizione ipotetica del nuovo rifugio sul Sella .....	91
Figura 49: Ingombro planimetrico ipotetico del nuovo edificio sul Sella .....	92
Figura 50: Gruppo Montuoso delle Odle .....	93
Figura 51: scorcio sul percorso per raggiungere Crëp das Dodesc.....	95
Figura 52: percorso Pescol - Crëp das Dodesc.....	95
Figura 53: andamento altimetrico percorso Pescol - Crëp das Dodesc.....	96
Figura 54: foto panoramica Crëp das Dodesc .....	96
Figura 55: vista da Crëp das Dodesc sulla Val Badia.....	97

Figura 56: vista da Crèp das Dodesc (direzione Nord-Est) .....	97
Figura 57: vista Crèp das Dodesc (direzione Sud-Ovest) .....	98
Figura 58: vista Crèp das Dodesc (direzione Sud-Est).....	98
Figura 59: Mappa altimetrica del sito.....	100
Figura 60: Conformazione terreno-rocciosa Crèp das Dodesc.....	102
Figura 61: macchinari per la movimentazione dei carichi in cantiere: gru-ragno .....	103
Figura 62: distanza aerea percorsa dalla nuova teleferica .....	104
Figura 63: parametri sismici associati a ciascuno stato limite .....	107
Figura 64: Spettro di risposta azione sismica allo SLV.....	110
Figura 65: Portapilastrì a croce per collegamento pilastro-fondazione .....	114
Figura 66: Elemento a scomparsa di connessione legno-legno utilizzato nelle connessioni trave-trave o trave-pilastro.....	115
Figura 67: Schema elementi strutturali del primo solaio.....	117
Figura 68: Schema elementi strutturali di copertura .....	117
Figura 69: Stratigrafia solaio primo impalcato .....	118
Figura 70: Sollecitazioni sulla trave T4.....	129
Figura 71: freccia su trave T4.....	130
Figura 72: sollecitazioni su trave T5.....	133
Figura 73: deformazioni su trave T5.....	134
Figura 74: deformazione trave T6 .....	135
Figura 75: deformazione trave T6 .....	136
Figura 76: Capriata tipo .....	138
Figura 77: Schema rappresentativo della capriata .....	139
Figura 78: Schema delle forze nel nodo puntone-puntone.....	139
Figura 79: Schema delle forze nel nodo catena-puntone .....	140
Figura 80: Schematizzazione del fissaggio catena-puntone .....	142
Figura 81: Trasmissione delle forze catena-puntone.....	143
Figura 82: Piastra di fissaggio capriata-pilastro.....	144
Figura 83: schematizzazione metodi di rottura dei perni passanti nella capriata .....	145

Figura 84: Metodo di rottura k per il perno passante .....	147
Figura 85: schema disposizione bulloni di fissaggio catena-puntone .....	149
Figura 86: quotatura fori per barre passanti di fissaggio catena-puntone.....	150
Figura 87: elemento di fissaggio per collegamento puntone-puntone .....	151
Figura 88: Schema delle forze scomposte nel nodo puntone-puntone.....	152
Figura 89: Pressioni agenti sulle superfici dei puntoni.....	153
Figura 90: Dettaglio nodo pilastro-capriata e pilastro-travi di solaio .....	155
Figura 91: Dettaglio attacco dei pilastri alla base .....	156
Figura 92: Portapilastri a lame incrociate per pilastri in legno lamellare .....	156
Figura 93: curva instabilità-k critica (coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità) .....	158
Figura 94: Elemento tipo parete in pannelli sandwich coibentati.....	159
Figura 95: Spaccato di un elemento parete.....	160
Figura 96: elementi hold-down di fissaggio pareti a terra .....	161
Figura 97: elementi angolari di ancoraggio pareti a terra per azioni di taglio .	162
Figura 98: elementi a piastra per ancoraggio pareti resistenti a forze di trazione .....	162
Figura 99: elementi a piastra per ancoraggio pareti resistenti a forze di taglio	163
Figura 100: dettaglio tavolato di controventamento pareti in legno di abete inclinato a 45° .....	164
Figura 101: esempio di utilizzo controventi metallici per irrigidire facciate vetrate nel Rifugio Gonella .....	166
Figura 102: estratto catalogo Rothoblaas (resistenza a trazione elementi per controventi metallici).....	167
Figura 103: estratto catalogo Rothoblaas (resistenza a trazione tensionatori per controventi metallici).....	168
Figura 104: problemi di marcescenza alla base per errata posa dei materiali	170
Figura 105: palo in acciaio a elica per fondazioni.....	172
Figura 106: posa di pali trivellati a elica con macchine operatrici.....	173
Figura 107: gabbioni in rete metallica per fondazioni a secco .....	175
Figura 108: rete di chiusura annegata in travi prefabbricate in calcestruzzo..	176

Figura 109: assemblaggio gabbione .....	177
Figura 110: Getto di malta cementizia a presa rapida ed alta prestazione .....	178
Figura 111: Sezione tipo di fondazione a secco realizzata con gabbioni .....	179
Figura 112: Sezione tipo di fondazione a secco realizzata elementi puntuali in acciaio .....	181
Figura 113: grafici tempo-temperature interna ed esterna all'edificio .....	186
Figura 114: schema impianto fotovoltaico in isola .....	191
Figura 115: Rifugio Cröp das Dodesc, vista lato Sud .....	195
Figura 116: Rifugio Cröp das Dodesc, vista lato Est .....	195
Figura 117: Rifugio Cröp das Dodesc, vista facciata Sud-Est .....	196



## 1 I rifugi alpini

Per rifugio di montagna (o rifugio alpino nel caso specifico) si intende una costruzione realizzata in zone montuose, solitamente ad un'opportuna distanza dai centri abitati, la quale è destinata ad ospitare escursionisti, alpinisti ma anche turisti che frequentano la montagna. La struttura dispone usualmente di servizi di base per il pernottamento e il ristoro dei suoi fruitori: vi si trovano infatti bagni, cucina, stanze da letto e sale da pranzo che permettano vitto e alloggio.<sup>1</sup>



*Figura 1: Rifugio Locatelli alle Tre Cime di Lavaredo*

---

<sup>1</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio\\_alpino](https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio_alpino)

Si parla dunque di strutture semplici, simili a piccoli alberghi di montagna ma caratterizzate appunto dalla sobrietà che le differenzia nettamente da hotel più lussuosi che possono trovarsi nei centri abitati. Essi nascono infatti principalmente con l'intento di offrire riparo e ristoro ai viandanti che possono incorrere in difficoltà avventurandosi in zone montane che possono riservare insidie e pericoli.

### 1.1 Caratteristiche generali

Il rifugio alpino viene definito come una struttura ricettiva montana idonea a costituire una base d'appoggio per l'attività alpinistica, predisposta e organizzata per offrire ospitalità, ristoro, pernottamento ed eventualmente primo soccorso ad escursionisti che si trovino in zone isolate di montagna.<sup>2</sup> Sono raggiungibili attraverso mulattiere, sentieri o linee funiviarie, in periodi dell'anno limitati anche con strade carrozzabili.<sup>3</sup>

Se sono situati lungo un itinerario riconosciuto dalla regione è consentita la denominazione di "posto tappa", ubicato in località servite da strade aperte al transito pubblico veicolare con offerta di peculiari servizi turistici e dotazioni.<sup>4</sup>

I rifugi, per la maggior parte di proprietà del Club Alpino Italiano (CAI), vengono dati in affidamento a un gestore o a un custode che li tiene aperti solitamente in un periodo limitato dell'anno (non inferiore a 30 giorni) proprio per il fatto che la stagione turistica si limita spesso a quella estiva. Nel periodo invernale infatti, a causa delle forti intemperie, di ghiaccio e abbondanti nevicate il loro

---

<sup>2</sup> <https://www.cai.it/wp-content/uploads/2020/12/Regolamento-strutture-ricettive-del-Club-Alpino-Italiano-20201.pdf>

<sup>3</sup> [https://www.istat.it/it/files//2018/07/2003\\_9.pdf](https://www.istat.it/it/files//2018/07/2003_9.pdf)

<sup>4</sup> [https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2018-11/scheda\\_tecnica\\_rifugi\\_escursionistici.pdf](https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2018-11/scheda_tecnica_rifugi_escursionistici.pdf)

raggiungimento può essere impedito o reso difficoltoso. In qualsiasi caso il rifugio deve essere comunque dotato di un locale invernale non custodito a cui eventuali escursionisti possano accedere anche nel periodo di chiusura e in assenza del gestore.<sup>5</sup>

I locali ad uso del gestore e dei dipendenti devono essere presenti e separati da quelli ad uso del pubblico.

Si possono trovare all'interno del "regolamento strutture ricettive del club alpino italiano", i requisiti minimi e le dotazioni dei rifugi alpini ed escursionistici divisi in più blocchi ed elencati di seguito.

#### **REQUISITI STRUTTURALI, TECNOLOGICI E DOTAZIONI:**

- Acqua potabile destinata al consumo umano
- Impianti tecnologici conformi alla normativa vigente
- Adeguati impianti per la prevenzione incendi
- Un'apertura che garantisca l'uscita dal rifugio anche in caso di un'improvvisa nevicata
- Dotazione di materiale e attrezzature di emergenza da concordarsi con il Soccorso Alpino e di materiale sanitario di pronto soccorso
- Telefono o di altri sistemi di comunicazione per chiamata d'urgenza
- Piazzola idonea all'atterraggio di elicotteri di soccorso
- Locale ristoro per la somministrazione di alimenti e bevande con possibilità anche di consumo delle proprie vivande
- Opportuni spazi e idonei contenitori per la raccolta differenziata dei rifiuti
- Adeguati impianti di trattamento delle acque reflue
- Cuscini e materassi, sanificati e disinfestati almeno annualmente
- Adeguato spazio destinato al deposito di scarponi, di attrezzature e di indumenti da asciugare
- Un locale di fortuna sempre aperto, accessibile dall'esterno<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> <https://www.cai.it/wp-content/uploads/2020/12/Regolamento-strutture-ricettive-del-Club-Alpino-Italiano-20201.pdf>

<sup>6</sup> <https://www.cai.it/wp-content/uploads/2020/12/Regolamento-strutture-ricettive-del-Club-Alpino-Italiano-20201.pdf>

## **REQUISITI DI SOSTENIBILITA' AMBIENTALE:**

- Presenza di sistemi per il recupero dell'acqua piovana e suo riutilizzo
- Installazione di un disoleatore a monte del sistema di trattamento delle acque reflue
- In caso di utilizzo di sistemi di generazione di energia elettrica da motori termici, occorre che la struttura sia dotata di idonei sistemi per il recupero del calore
- Utilizzo di materiali e tecniche di edilizia ecoefficiente<sup>7</sup>

## **REQUISITI IGIENICO SANITARI E DOTAZIONI DEI LOCALI ADIBITI AL PERNOTTAMENTO:**

- Cubatura minima pro capite pari almeno a 4 m<sup>3</sup>
- Altezza media minima di 2,20 m o comunque mai inferiore a 1,40 m
- Aperture fenestrate apribili in misura non inferiori a 1/15 della superficie in pianta<sup>8</sup>

## **REQUISITI STRUTTURALI E DOTAZIONI DEI SERVIZI IGIENICI DESTINATI AGLI UTENTI:**

- Accesso dall'interno del rifugio
- Ventilazione, preferibilmente naturale, mediante finestre di superficie non inferiore a 0,40 m<sup>2</sup>. In caso di ventilazione meccanica deve assicurare una portata non inferiore a 5 ricambi orari
- Altezza media minima di 2,40 m o comunque mai inferiore a 1,80 m
- rivestimenti in materiale lavabile e disinfettabile fino ad un'altezza non inferiore a 1,40 m
- almeno un wc e un lavabo ogni 20 posti letto, una doccia ogni 30 posti letto, un lavello lavabiancheria, eventualmente anche esterno alla struttura

---

<sup>7</sup> <https://www.cai.it/wp-content/uploads/2020/12/Regolamento-strutture-ricettive-del-Club-Alpino-Italiano-20201.pdf>

<sup>8</sup> <https://www.cai.it/wp-content/uploads/2020/12/Regolamento-strutture-ricettive-del-Club-Alpino-Italiano-20201.pdf>

- presenza di disimpegno atto a evitare la comunicazione diretta con i locali soggiorno, cucina e camere oltre quattro posti letto
- almeno un wc e un lavabo supplementare a disposizione di “ospiti non pernottanti”<sup>9</sup>

#### **REQUISITI E DOTAZIONI DEI LOCALI DESTINATI AL PERSONALE:**

- Locali di alloggio per il gestore e/o personale con le stesse caratteristiche di quelli destinati agli ospiti
- Servizio igienico completo di wc, lavabo e doccia ad uso esclusivo del gestore e/o personale con le caratteristiche di quelli destinati agli ospiti<sup>10</sup>

#### **REQUISITI E DOTAZIONI DEI LOCALI ADIBITI A CUCINA:**

- altezza media minima di 2,20 m o comunque mai inferiore a 1,80 m
- superficie minima di 8 m<sup>2</sup> per i rifugi nuovi o soggetti a ristrutturazione
- rivestimenti in materiale lavabile e disinfettabile fino a un'altezza non inferiore a 1,80 m
- pavimento lavabile e disinfettabile
- separazione della zona preparazione e cottura dalla zona lavaggio
- piani di lavoro rivestiti in materiale uniforme lavabile e disinfettabile
- doppio lavello dotato di acqua calda e fredda con comando a leva lunga o a piede, in numero di due oltre i 100 posti letto, uno per la zona lavaggio e uno per la zona preparazione pasti
- frigorifero con separazione tra i diversi alimenti
- zona cottura con presa d'aria esterna e sistema di evacuazione fumi
- aperture fenestrate apribili in misura non inferiore a 1/15 della superficie in pianta, dotate di rete protettiva contro gli insetti
- idonei contenitori per la raccolta dei rifiuti con apertura a pedale
- idoneo locale o zona per il deposito di alimenti e bevande<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> <https://www.cai.it/wp-content/uploads/2020/12/Regolamento-strutture-ricettive-del-Club-Alpino-Italiano-20201.pdf>

<sup>10</sup> <https://www.cai.it/wp-content/uploads/2020/12/Regolamento-strutture-ricettive-del-Club-Alpino-Italiano-20201.pdf>

<sup>11</sup> <https://www.cai.it/wp-content/uploads/2020/12/Regolamento-strutture-ricettive-del-Club-Alpino-Italiano-20201.pdf>

## **REQUISITI E DOTAZIONI DEI LOCALI PER LA SOSTA, IL RISTORO E LA SOMMINISTRAZIONE AL PUBBLICO DI ALIMENTI E BEVANDE:**

- altezza media minima di 2,20 m o comunque mai inferiore a 1,80 m
- superficie minima di almeno 25 m<sup>2</sup>
- aperture fenestrate apribili in misura non inferiore a 1/15 della superficie in pianta
- opportuni spazi e idonei contenitori per la raccolta dei rifiuti

Una volta rispettati tutti i limiti e i requisiti precedentemente elencati una struttura ricettiva può considerarsi un rifugio alpino, i quali sono classificati nel “regolamento strutture ricettive del club alpino italiano” in base alla facilità di raggiungimento da parte di un escursionista e alla modalità di rifornimento in 5 classi:

- A. rifugi raggiungibili dalla clientela con auto privata o con massimo 10 minuti a piedi dal parcheggio
- B. rifugi raggiungibili con impianto a fune, o nelle strette vicinanze (entro i 10 minuti a piedi dall'arrivo dell'impianto)
- C. D. E.

Il parametro di facilità di raggiungimento sono le ore di cammino da tabella CAI.

Per quanto riguarda il mezzo di trasporto dei rifornimenti/attrezzature, si assume che il costo in elicottero è il più elevato mentre la teleferica ha un costo una tantum ed ammortizzabile su più anni. Si assume che un rifugio rifornito in elicottero, deve essere almeno in classe D o superiore. Si assume che un rifugio per essere in classe E deve essere sempre a più di 4 ore di cammino.

La classificazione viene eseguita tramite la seguente tabella:

<b>Ore di cammino</b>	<b>Mezzo disponibile per il rifornimento</b>		
	<b>Mezzo motorizzato</b>	<b>teleferica</b>	<b>elicottero</b>
Fra i 10 minuti e le 2 ore	C	C	D
> 2h e ≤ 4 ore	C	D	D
Sopra le 4 ore	D	E	E

Nella disponibilità contemporanea di diversi mezzi di rifornimento, la classe attribuita è la minore. Nel caso che un rifugio non abbia disponibilità di acqua, e debba essere rifornito continuamente con cisterne, la classificazione aumenta di una unità. (esempio da C a D e da D a E). Questo deve essere strutturale e non momentaneo di una stagione.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> <https://www.cai.it/wp-content/uploads/2020/12/Regolamento-strutture-ricettive-del-Club-Alpino-Italiano-20201.pdf>

## 1.2 Cenni storici

Storicamente il concetto di rifugio alpino è piuttosto recente se paragonato a quello di architettura in genere. I primi rifugi veri e propri sorsero infatti dopo la fondazione del Club Alpino Italiano (CAI) nel 1863, società tutt'ora proprietaria della maggior parte dei rifugi presenti. Nel passato, infatti, l'ambiente montano suscitava un interesse più limitato nell'uomo proprio per il fatto che l'insediamento in zone di più facile accesso e con condizioni ambientali più agevoli faceva preferire queste ultime alle catene montuose che rappresentavano al massimo una via di passaggio tra una località e l'altra. Si registra per la prima volta nel medioevo una serie di ordini monastici che decisero di ritirarsi sui monti dando vita ai primi ospizi per dare assistenza ai viandanti. Successivamente gli insediamenti sulle montagne si svilupparono con scopi militari, nacquero i rifugi Napoleonici del Col du Noyer, del Col de la Manse, del Col dell'Agnello, dell'Izoard e del Col de Vars. Fino a questo punto però l'interesse nei confronti della montagna non è di tipo alpinistico nel senso odierno del termine e gli abitanti della valle che si avventuravano sulle montagne a scopo di caccia e pastorizia erano soliti arrangiarsi con ripari di fortuna in cui solitamente sostavano insieme allo stesso bestiame.<sup>13</sup>

L'origine del moderno concetto di rifugio è fatta invece generalmente risalire al 1785 con la Capanna Vincent costruita sul versante meridionale del Monte Rosa quale punto di appoggio per lo sfruttamento delle adiacenti miniere d'oro, seguita nel 1851 da un ricovero al Colle Indren adibito ad osservazioni scientifiche.<sup>14</sup> Come si è visto quindi le radici più profonde del concetto di "rifugio" sono situate in un contesto culturale che si differenzia profondamente

---

<sup>13</sup> <https://www.saliinvetta.com/culture-e-tradizioni/1226-i-rifugi-alpini-storia-delle-dimore-in-quota>

<sup>14</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio\\_alpino](https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio_alpino)



da quello attuale: erano infatti volti a sostenere scambi commerciali, spedizioni militari e pellegrinaggi ai grandi santuari.<sup>15</sup>



*Figura 2: Rifugio dell'Alpetto al Monviso, il primo del CAI (2268 m s.l.m)*

*Nel XIX secolo, tuttavia, l'atteggiamento dell'uomo nei confronti della montagna cambia e questa iniziò ad essere percepita come qualcosa da scoprire e con cui misurarsi anche per l'appassionato, facendo nascere così i primi rifugi così come li intendiamo oggi. Il più antico di questi fu il rifugio Alpetto costruito nel 1866 sul Monviso, attivo fino al 1905 e oggi sostituito da una struttura moderna, mentre il più antico rifugio d'Italia tuttora in attività è il rifugio Giuseppe Garibaldi sul Gran Sasso.<sup>16</sup>*

---

<sup>15</sup> <http://rifugiebivacchi.cailugo.it/Inside.cfm?area=STORIA&sezione=STORIA>

<sup>16</sup> <https://www.saliinvetta.com/culture-e-tradizioni/1226-i-rifugi-alpini-storia-delle-dimore-in-quota>



*Figura 3: Storico rifugio Colle del Teodulo*

Prese piede qualche decennio più tardi anche il concetto di bivacco fisso, comparso attorno al 1920 e adibito ad essere allestito nelle zone più remote ed impervie in cui la creazione di veri e propri rifugi serviti risultava più difficoltosa. Si tratta infatti di piccolissime strutture al servizio di alpinisti impegnati in lunghe ascensioni che cercano riparo per la notte. <sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> <https://www.saliinvetta.com/culture-e-tradizioni/1226-i-rifugi-alpini-storia-delle-dimore-in-quota>



*Figura 4: Bivacco Perugini e Campanile della Val Montanaia, Cimolais (PN)*

Successivamente i rifugi nelle Alpi si moltiplicarono e si evolvettero grazie anche all'opera delle varie sezioni del CAI (Club Alpino Italiano), il CAI è ad oggi, infatti, proprietario della maggior parte dei rifugi presenti sulla superficie nazionale, i quali sono però dati in gestione a privati. Nell'arco degli anni è importante sottolineare comunque che le esigenze e le caratteristiche richieste a tali strutture si sono modificate nel tempo, il loro aspetto e le loro caratteristiche prestazionali si sono evoluti per far fronte alle nuove esigenze di risparmio energetico, ecosostenibilità e design innovativo che non fanno però mancare le polemiche da parte dei tradizionalisti. Oltre al fatto che l'incremento dei praticanti degli sport invernali ha richiamato sulle montagne un quantitativo di persone sempre più elevato che spinge le strutture interessate ad adattarsi a tale affluenza oltre che a rinnovare le proprie caratteristiche in conseguenza al fatto di dover rimanere talvolta aperte tutto l'anno.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> <https://www.saliinvetta.com/culture-e-tradizioni/1226-i-rifugi-alpini-storia-delle-dimore-in-quota>

### 1.3 I Club Alpini e il CAI

Il primo Club Alpino ad essere istituito fu nel 1857/58 nel Regno Unito e nello specifico a Londra, l'Alpine Club: si trattava di un'associazione di gentiluomini appartenenti alla nobiltà e alla borghesia inglese che praticavano l'alpinismo d'alta quota, specialmente nella zona alpina. Dal 1863 l'Alpine Club pubblicò la prima rivista alpinistica della storia: "The Alpine Journal" che raccoglieva i racconti sulle esperienze dei più famosi alpinisti con tanto di mappe e carte geografiche annesse. Dopo la nascita di questa prima associazione alpinistica, negli anni successivi anche gli altri grandi apesi europei seguirono le orme degli inglesi: l'Österreichischer Alpenverein austriaco nel 1862, il Club Alpino Italiano nel 1863 (quarto per ordine di nascita fra le società alpine europee) e il Club Alpino Francese nel 1874.<sup>19</sup>

Concentrando l'attenzione sul Club Alpino Italiano, costituito a Torino il 23 ottobre 1863, (anche se si può far risalire idealmente la data della sua fondazione al 12 agosto di quello stesso anno durante la famosa salita al Monviso ad opera di Quintino Sella, Giovanni Barracco, Paolo e Giacinto di Saint Robert) esso è una libera associazione che, come viene riportato nel primo articolo del suo statuto, ha per scopo l'alpinismo in ogni sua manifestazione, la conoscenza e lo studio delle montagne, specialmente di quelle italiane, e la difesa del loro ambiente naturale. Il club vide la luce due anni dopo la proclamazione dell'Unità d'Italia, la caratteristica di essere un'associazione nazionale, infatti, gli permise di espandersi su tutto il territorio italiano passando dagli iniziali 200 membri del 1863 ai 4.500 soci già nel 1888, fino ad arrivare ai 306.255 di oggi, distribuiti in tutta la nazione. Fino alla Prima guerra mondiale il CAI svolse il ruolo di diffondere la pratica dell'alpinismo e del turismo montano nella borghesia, promuovendo la ricerca scientifica,

---

<sup>19</sup> <https://www.cai.it/storia-2/>

organizzando congressi e gite, pubblicando una rivista mensile e costruendo rifugi alpini che sono passati dai 57 presenti prima del 1900 ai 750 attuali, contando 21.000 posti letto. Proprio in occasione del primo conflitto mondiale il CAI scelse di non rimanere in disparte nel momento in cui l'Italia entrò in guerra contro l'Austria e nel 1915 infatti, il presidente del CAI, senatore Lorenzo Camerano, lanciò a tutti i membri l'appello di accorrere a partecipare al conflitto svoltosi proprio sulle montagne che separano i due paesi. Oltre 2000 soci risposero alla chiamata e molti di più morirono sacrificandosi sulle Alpi. In quegli anni l'impegno del CAI viene volto principalmente a fini di propaganda bellica e assistenza, ma anche con l'impegno nella protezione civile, ad esempio, dopo il terremoto che sconvolge l'Abruzzo nel 1915.<sup>20</sup>

Dopo la guerra, in conseguenza alla nuova percezione della montagna sviluppatasi durante il conflitto, cambiò anche la tipologia dei frequentatori che non si limitava più alla sola classe agiata ma si espanse a una realtà sociale più vasta che comprendeva anche la classe operaia e quella studentesca.<sup>21</sup>

Dopo l'avvento del fascismo, come la maggior parte delle associazioni nazionali, anche il CAI si uniformò al potere politico sostenendo il governo di Mussolini e comportando la perdita della propria tradizione liberale. Nel febbraio 1927 venne comunicato al presidente Porro che il CAI era stato inserito nel Comitato Olimpico Nazionale Italiano come organo sportivo dipendente da Partito Nazionale Fascista. Nell'assemblea svoltasi a Genova due mesi più tardi, alcuni soci espressero il loro disappunto a riguardo e vennero successivamente espulsi o spinti a dare le dimissioni volontarie. Nel 1929 la presidenza del Club Alpino passò ad Augusto Turati che ne spostò a Roma la sede rendendo ancora più stringente il controllo del governo fascista che fra le altre cose inserì il fascio agli elementi storici del distintivo del Club. Nel maggio

---

<sup>20</sup> <https://www.cai.it/storia-2/>

<sup>21</sup> <https://www.cai.it/storia-2/>

1938 per Decreto Regio, il “Club Alpino Italiano” diventò “Centro Alpino Italiano” per poi riprendere il suo nome originale solo nel 1945.<sup>22</sup>



*Figura 5: Logo del Club Alpino Italiano (CAI)*

Con l'entrata in guerra dell'Italia accanto all'Asse, l'attività del CAI proseguì con la chiamata ai giovani alle armi. Solo nel 1943, dopo la caduta del fascismo il presidente Manaresi venne dimesso e al suo posto il milanese Guido Bertarelli ritrasferì la sede centrale a Milano. Dal 1944 il Club si impegnava ad operare sul fronte della resistenza oltre che su quello della ricostruzione, durante il conflitto infatti le distruzioni avevano colpito anche il patrimonio dei rifugi in quanto 380 di questi vennero utilizzati come quartieri generali nella lotta per la resistenza e la liberazione, portando alla completa distruzione di 64 di essi e al danneggiamento di molti altri da parte dei tedesco-fascisti. Sono stati inoltre

---

<sup>22</sup> <https://www.cai.it/storia-2/>

utilizzati nell'appoggiare e assistere profughi ebrei che attraverso le Alpi cercavano rifugio in Svizzera.<sup>23</sup>

Dopo la fine della guerra e il ritorno alla vita di tutti i giorni tornarono ad incrementarsi anche le adesioni alle attività sociali e i membri aumentarono da appena 30.000 nel primo dopoguerra fino a triplicarsi nel giro di tre anni. Seppur con grandi difficoltà date dalla mancanza di denaro, di mezzi e di materiali provocate dalla guerra, in collaborazione con le autorità civili e militari si iniziò a riedificare i rifugi e a promuovere iniziative culturali e scientifiche con al centro il tema delle escursioni sulle montagne italiane e non solo. Si potenziarono inoltre la formazione di figure specializzate tramite scuole di alpinismo e campeggi estivi per i ragazzi.<sup>24</sup>

Si trova il massimo simbolo dell'impegno del CAI alla ricostruzione con un evento che portò a ricompattare l'identità nazionale compromessa dalle divisioni politiche e a risollevarne il morale a un popolo militarmente sconfitto e ferito: una spedizione alpinistica organizzata dal CAI che portò il tricolore sulla seconda vetta più alta del mondo nel 1945, ovvero il K2, nel Pakistan. Sempre nello stesso anno venne costituito il Soccorso Alpino che prese poi il nome di "Corpo nazionale soccorso alpino e speleologico" con lo scopo di vigilare, prestare soccorso e recuperare persone nell'eventualità di infortuni o gravi pericoli che potrebbero presentarsi durante lo svolgimento delle attività alpinistiche. Oggi il soccorso alpino conta 7.280 volontari fra cui 335 medici. Anche durante gli episodi di grandi catastrofi come quella del Vajont e dei vari terremoti di Friuli, Irpinia e Abruzzo il CAI prese parte alle operazioni di soccorso, oltre a quelle individuali sulle montagne che fino ad oggi sono state migliaia.<sup>25</sup>

---

<sup>23</sup> <https://www.cai.it/storia-2/>

<sup>24</sup> <https://www.cai.it/storia-2/>

<sup>25</sup> <https://www.cai.it/storia-2/>



Negli ultimi decenni il turismo alpino ha preso una piega diversa rispetto a quello del passato portando un quantitativo sempre maggiore di persone a riversarsi sulle montagne spesso sfociando in comportamenti aggressivi e devastanti nei confronti dell'ambiente. Si aggiunge quindi a quelle iniziali, anche la missione da parte del CAI di sensibilizzare e dare consapevolezza ai visitatori riguardo al patrimonio naturale e culturale rappresentato dal territorio montano. Si sono sviluppate quindi 170 scuole disposte su tutto il territorio italiano nelle quali sono occupati 2600 istruttori e 1400 guide professioniste, oltre a più di 200 tecnici specializzati nella prevenzione di disastri naturali e valanghe.<sup>26</sup>

In ambito culturale è proseguito da parte del CAI l'impegno a pubblicizzare la montagna e il rispetto per il territorio alpino attraverso l'edizione di riviste periodiche che mirano a sensibilizzare i lettori, oltre che la fondazione di istituzioni come il Museo Nazionale della Montagna e la Biblioteca Nazionale di Torino. In ambito scientifico invece ha preso vita la Capanna osservatorio Regina Margherita, si tratta del rifugio più alto d'Europa a 4554 metri sulla Punta Gnifetti del Monte Rosa, punto di riferimento per quanto riguarda i materiali tecnici e l'ambiente.<sup>27</sup>

---

<sup>26</sup> <https://www.cai.it/storia-2/>

<sup>27</sup> <https://www.cai.it/storia-2/>





*Figura 6: Foto storica della Capanna osservatorio Regina Margherita (4554 m s.l.m.)*

L'associazione ad oggi è divisa in 21 gruppi regionali e due raggruppamenti provinciali (Trentino e Alto Adige) e contava alla data del 31 dicembre 2020 un totale di 306.255 soci. Viene classificato come un ente pubblico non economico, mentre tutte le sue strutture territoriali (sezioni, raggruppamenti regionali e provinciali) sono soggetti di diritto privato. L'impegno dei volontari costituenti il CAI ha permesso la realizzazione dalla sua fondazione ad oggi, di un vasto assortimento di opere al servizio dei frequentatori della montagna quali rifugi, bivacchi, sentieri e rimboschimenti.<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> <https://www.cai.it/storia-2/>

## 2 Tecniche costruttive in ambienti ostili

Si torna ora a concentrare l'attenzione sui rifugi alpini e in particolare sull'esaminare quali possano essere le tecniche costruttive e le caratteristiche fondamentali da adottare nella realizzazione di questo particolare tipo di edificio che sorge in contesti difficili sia dal punto di vista climatico che da quello ambientale e realizzativo. La difficoltà di realizzare fabbricati ad alta quota e in condizioni sfavorevoli ha portato l'uomo da subito ad adattare le tecniche e le caratteristiche costruttive a quelle che sono le specifiche del luogo. Se in montagna le case ad altitudini più basse spesso sono costruite con modalità simili a quelle della pianura, quelle a quote più alte presentano da sempre caratteristiche comuni tra loro come l'elevata pendenza delle falde dei tetti che permette il rapido scivolamento della neve facendo scongiurare così il collasso della copertura. Gli edifici devono in queste condizioni essere pensati per adattarsi ad un ambiente non ospitale, con temperature estreme, escursioni termiche elevate, vento, terreno spesso inclinato, neve, possibilità di frane e valanghe oltre che alle abbondanti precipitazioni.

Importante considerazione da fare è inoltre quella che vede molto spesso i rifugi alpini ad essere situati in luoghi impervi non raggiungibili da strade carrabili e talvolta neppure da mezzi di trasporto a fune. Solo l'utilizzo dell'elicottero rende fattibile il trasporto di materiali e apparecchiature in sito, il quale ha però il difetto di risultare poco sostenibile sia dal punto di vista ambientale che da quello economico. Per questo motivo è necessario in fase di progettazione, studiare la miglior soluzione costruttiva che permetta un facile montaggio/smontaggio, lavorazioni in quota ridotte al minimo indispensabile e che limitino l'impatto ambientale con il minor costo possibile dal punto di vista del trasporto.

Al fine di comprendere meglio quali possano essere i metodi costruttivi e le caratteristiche tecniche più idonee allo specifico caso in esame si prendono in considerazione quelli utilizzati nella realizzazione di altri edifici sorti in condizioni

ambientali simili, ripercorrendo brevemente la storia architettonica e tecnologica che caratterizza questo tipo di costruzione. Capire cosa, come e perché si è costruito rappresenta il primo passo per trarre tutte le nozioni necessarie del caso. Nello specifico si fa riferimento ad altri rifugi alpini valutandone anche l'evoluzione dal punto di vista prestazionale e delle necessità richieste.

## 2.1. I rifugi della tradizione

Una volta abbandonata la primitiva idea di rifugio come ripari rudimentali per cacciatori, milizie e viandanti che cercavano di attraversare i valichi alpini, spesso ricavati da cavità o sporgenze naturali nella roccia, si inizia alla fine dell'800 a edificare le prime strutture permanenti, quali punti di appoggio per i passanti. Le prime strutture presentano la caratteristica di essere estremamente semplici e costituite da materiali locali, in particolare modo pietrame che risulta abbondantemente presente in sito oltre che legname. I materiali vengono infatti trasportati inizialmente in spalla o a dorso di animali e assemblati in quota.<sup>29</sup>

Anche la scelta del luogo dove edificare risulta essere empirica e piuttosto primitiva: si ammassava una piramide di sassi in attesa dell'inverno e nel caso questa fosse ancora integra l'anno seguente si considerava il sito idoneo per la costruzione.<sup>30</sup>

In seguito ai conflitti mondiali che hanno impegnato i rifugi come strutture belliche e di supporto per le particolari necessità del momento, il boom economico degli anni Sessanta ha portato una frequentazione di massa sulle alpi da parte di tutte le classi della popolazione anche grazie alla costruzione di numerose strade, hotel e impianti di risalita che hanno ridotto sensibilmente gli avvicinamenti. Si verifica così in quegli anni un improvviso incremento della costruzione di nuovi rifugi sempre più grandi, attrezzati e in grado di ospitare un numero sempre maggiore di persone. Non è raro, infatti, trovare strutture risalenti a questo periodo con un numero di posti letto che supera il centinaio, a differenza di quelli realizzati negli anni antecedenti. Si analizzano alcuni di questi rifugi tradizionali sorti sulle Alpi italiane ed in particolare sulle dolomiti per capirne le caratteristiche che li contraddistinguono.<sup>31</sup>

---

<sup>29</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)

<sup>30</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)

<sup>31</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)

### 2.1.1. Rifugio Nuvolau

Il rifugio fu realizzato nel 1883, quando Cortina faceva parte del territorio Asburgico, dalla sezione locale del Club Alpino Austro-tedesco. È stato inaugurato l'11 agosto e rappresenta il primo rifugio alpino costruito nell'ampezzano oltre ad essere il primo delle Dolomiti.

Venne eretto grazie alla generosità di un colonnello tedesco, il barone Richard Vom Meerheimb , il quale giunto a Cortina dalla Sassonia gravemente malato, trovò guarigione nell'ampezzano ed in segno di gratitudine fece costruire il rifugio con il nome di Sachsendankhütte ("rifugio della gratitudine sassone").

Dopo un primo ampliamento nel 1901, il rifugio venne distrutto nel corso della Prima Guerra Mondiale e dopo il conflitto, quando Cortina d'Ampezzo entrò a far parte del Regno d'Italia (1918) il rifugio passò di proprietà al CAI sezione di Cortina, che lo ampliò e lo riaprì nel 1930 con il nome di rifugio Nuvolau.

Venne poi ulteriormente ampliato nel 1970, dal 1973 e per 47 anni è stato gestito dalla famiglia Siorpaes. <sup>32</sup>

---

<sup>32</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio\\_Nuvolau](https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio_Nuvolau)



*Figura 7: Rifugio Nuvolau (2574 m s.l.m.)*

**Quota:** 2574 m

**Anno di edificazione:** 1883

**Posti letto:** 26

**Modifiche e ampliamenti:**

Ampliamento nel 1893

Ricostruito nel 1930 dopo essere stato distrutto nella Grande Guerra

Ultimati gli ultimi lavori di ristrutturazione nel 2005

33

---

<sup>33</sup> <https://rifugionuvolau.it/>

**Struttura portante:**

muratura portante in pietra

**Solai:**

in legno

**Rivestimenti esterni e interni:**

pietra a vista e legno

**Copertura:**

tetto in legno rivestito in lamiera

**Isolamento:**

nessuno

**Impianti:**

elettricità da allaccio alla rete e gruppo elettrogeno

acqua da accumulo acque meteoriche, pompata dal passo Falzarego e portata tramite teleferica

riscaldamento con stufa a legna e radiatori elettrici

scarichi con fossa biologica

**Approvvigionamento:**

rifornimento mediante teleferica dal rifugio Cinque Torri

34

**Periodo di apertura:**

da giugno a fine settembre<sup>35</sup>

---

<sup>34</sup> <https://www.cantieridaltaquota.eu/tesi/il-futuro-di-unidentita-in-alta-quota/>

<sup>35</sup> <https://rifugionuvolau.it/>

### 2.1.2. Rifugio Lagazuoi

Il rifugio Lagazuoi è un rifugio alpino situato sul massiccio del Lagazuoi, nelle Dolomiti Orientali di Badia, ad una quota di 2.752 m s.l.m.. Si trova in cima al Piccolo Lagazuoi, in posizione molto panoramica su numerosissime vette dolomitiche, tra cui Cunturines, Cime di Fanes, Tofane, Odle e Marmolada.

La costruzione del rifugio avvenne tra il 1964 e il 1965, su iniziativa della guida alpina ampezzana Ugo Pompanin, per servire le piste da sci che si stavano ricavando sul Lagazuoi. Negli anni sono stati svolti molti lavori di ristrutturazione e ampliamento, tanto che oggi è il rifugio alpino più capiente nel comune di Cortina d'Ampezzo.<sup>36</sup>



*Figura 8: Rifugio Lagazuoi (2752 m s.l.m.)*

---

<sup>36</sup> <https://rifugiolagazuoi.com>



**Quota:** 2752 m

**Anno di edificazione:** 1965<sup>37</sup>

**Posti letto:** 74

**Modifiche e ampliamenti:**

Ampliamento nel 1987

38

**Struttura portante:**

telaio in calcestruzzo armato e tamponature in laterizio

**Solai:**

in laterocemento con travetti e pignatte

**Rivestimenti esterni e interni:**

intonaco e legno

**Copertura:**

tetto in legno rivestito in lamiera

**Isolamento:**

finestre con vetri a doppia camera

**Impianti:**

elettricità da allaccio alla rete e da pannelli fotovoltaici

acqua pompata dal passo Falzarego (2150 m), accumulo di acqua piovana e di fusione

riscaldamento mediante caldaia a gasolio e pannelli solari

---

<sup>37</sup> <https://rifugiolagazuoi.com>

<sup>38</sup> <https://rifugiolagazuoi.com>

**Approvvigionamento:**

rifornimento mediante funivia dal Passo Falzarego

39

**Periodo di apertura:**

Dal 20 giugno al 1 ottobre

Dal 22 dicembre al 30 marzo<sup>40</sup>

---

<sup>39</sup> <https://www.cantieridaltaquota.eu/tesi/il-futuro-di-unidentita-in-alta-quota/>

<sup>40</sup> <https://rifugiolagazuoi.com>

### 2.1.3. Rifugio Scoiattoli

Costruito nel 1969 dalla guida alpina Lorenzo Lorenzi, che tuttora lo gestisce assieme alla sua famiglia, vanta una spettacolare vista panoramica sulle 5 Torri.

È situato proprio sulle piste da sci e si trova nelle immediate vicinanze del Museo della Grande Guerra all'aperto, dove si possono percorrere le trincee e le postazioni restaurate.<sup>41</sup>



*Figura 9: Rifugio Scoiattoli (2255 m s.l.m.)*

**Quota:** 2255 m

**Anno di edificazione:** 1969

**Posti letto:** 42

**Modifiche e ampliamenti:**

---

<sup>41</sup> <https://www.rifugioscoiattoli.it/>

Ampliamento nel 2000

**Struttura portante:**

in calcestruzzo armato e laterizio

**Solai:**

in legno

**Rivestimenti esterni e interni:**

intonaco e legno

**Copertura:**

tetto in legno rivestito in lamiera

**Isolamento:**

finestre con vetrocamera

**Impianti:**

elettricità da allaccio alla rete

acqua garantita da acquedotto

riscaldamento con termosifoni e caldaia a gpl

**Approvvigionamento:**

rifornimento mediante funivia

42

**Periodo di apertura:**

da metà giugno a fine settembre

da metà novembre ad aprile<sup>43</sup>

---

<sup>42</sup> <https://www.cantieridaltaquota.eu/tesi/il-futuro-di-unidentita-in-alta-quota/>

<sup>43</sup> <https://www.rifugioscoiattoli.it/>

Dopo averne analizzati alcuni si prende coscienza, dunque, che la quasi totalità dei rifugi tradizionali realizzati nell'arco del XIX secolo siano stati edificati utilizzando materiali da costruzione e tecniche tradizionali, sfruttando come già detto le risorse naturali del luogo in cui sono ubicati. Una nota che risalta immediatamente è sicuramente la poca accortezza molto spesso nei confronti di alcuni aspetti che oggi sarebbero fondamentali. Innanzitutto l'assenza di un vero e proprio sistema di isolamento che escluda nel miglior modo possibile l'ambiente interno dell'edificio dalle temperature esterne che possono farsi molto basse, soprattutto in quei casi in cui il rifugio venga utilizzato anche durante la stagione invernale. La scarsa qualità dell'isolamento comporta infatti un maggior consumo di energia necessaria a scaldare l'interno dell'involucro edilizio. Una struttura di questo tipo non potrà essere considerata oggi ecologica e sostenibile. Anche il fatto che alcuni di questi rifugi non siano indipendenti dal punto di vista energetico e idrico non rappresenta una scelta attuabile in ogni situazione, a seconda di dove sorge l'edificio infatti potrebbe non esserci (o essere poco pratica) la possibilità di effettuare collegamenti con le reti pubbliche.

## 2.2. I rifugi moderni

Proprio per ovviare a tali carenze tecniche degli edifici più datati e per comprendere meglio i metodi costruttivi e progettuali più attuali adoperati in fabbricati di recente progettazione, si prendono in analisi rifugi e bivacchi moderni. Non mancano infatti anche esempi di edifici di montagna innovativi e sostenibili che rispettano a pieno le tematiche di risparmio energetico e protezione dal freddo, con forme contemporanee e non sempre tradizionali ma comunque ben calate nel contesto in cui si trovano.<sup>44</sup>

Alcuni esempi interessanti di costruzioni che possono essere presi in considerazione per studiarne le caratteristiche possono essere:

### 2.2.1. Monte Rosa Hütte



*Figura 10: Monte Rosa Hütte (2883 m s.l.m.)*

---

<sup>44</sup> <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/i-rifugi-eco-sostenibili-tra-tecnologia-e-risparmio-energetico/>

**Località:** Zermatt Svizzera<sup>45</sup>

**Quota:** 2883 m

**Anno di edificazione:** 2008-2009

**Committente:** Club Alpino Svizzero (CAS)

46

**Posti letto:** 120 +12 nel locale invernale <sup>47</sup>

**Struttura portante:**

- fondazioni in calcestruzzo e acciaio
- struttura portante prefabbricata in legno

**Solai e pareti:**

- pareti e soffitti con pannelli sandwich in legno

**Rivestimenti esterni:**

- alluminio

**Copertura:**

- con pannelli sandwich in legno rivestiti in alluminio

48

**Isolamento:**

- L'involucro isolante delle pareti realizzato con lana di vetro a bassa densità ha uno spessore di 300 mm; con uno spessore isolante così elevato è stata creata anche una struttura di supporto per svolgere la funzione di ancoraggio della facciata ventilata. È stato così utilizzato un apposito supporto per isolante (U\*psi F 300 della tedesca Lignotrend)

---

<sup>45</sup> [https://www.casaenergetica.it/info/viaggi\\_energetici/rifugi/monte\\_rosa\\_hutte.html](https://www.casaenergetica.it/info/viaggi_energetici/rifugi/monte_rosa_hutte.html)

<sup>46</sup> <https://www.sac-cas.ch/it/capanne-e-escursioni/portale-escursionistico-del-cas/monte-rosa-huette-sac-2147000182/>

<sup>47</sup> <https://www.sac-cas.ch/it/capanne-e-escursioni/portale-escursionistico-del-cas/monte-rosa-huette-sac-2147000182/>

<sup>48</sup> [https://www.casaenergetica.it/info/viaggi\\_energetici/rifugi/monte\\_rosa\\_hutte.html](https://www.casaenergetica.it/info/viaggi_energetici/rifugi/monte_rosa_hutte.html)

che ha permesso di ottenere una riduzione dei ponti termici di facciata del 15% circa rispetto ai sistemi tradizionali.<sup>49</sup>

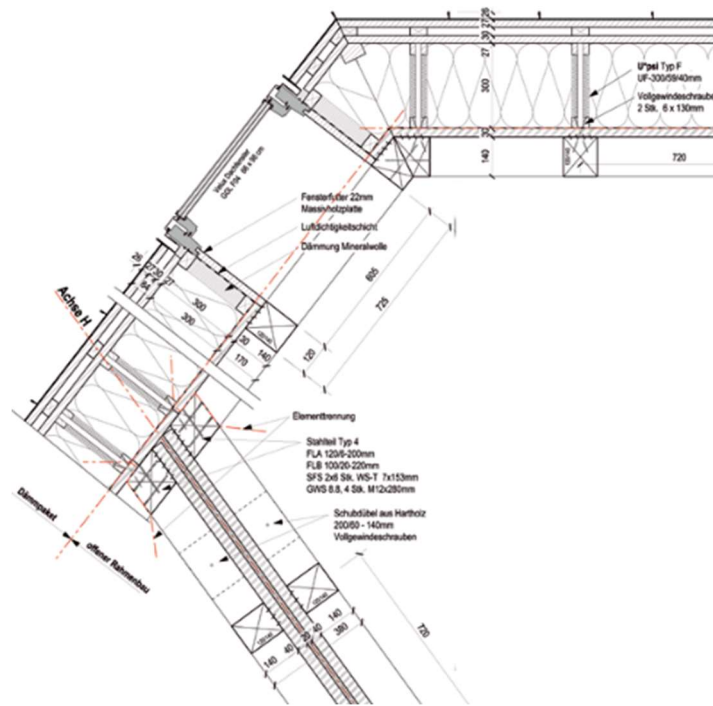


Figura 11: Dettaglio stratigrafia parete Monte Rosa Hütte

### **Impianti:**

- L'energia elettrica per un fabbisogno del 90% viene fornita da un sistema fotovoltaico (84 m<sup>2</sup> di celle monocristalline che producono una potenza di picco di 16 kW) posizionato sulla facciata in alluminio esposta a sud. L'energia prodotta dal fotovoltaico viene inoltre immagazzinata in delle apposite batterie per poterla utilizzare nelle giornate nuvolose e durante la notte. Il restante 10% viene coperto da una centrale di cogenerazione integrativa.
- Acqua calda sanitaria ottenuta mediante pannelli solari termici (60 m<sup>2</sup>) disposti su delle rocce a sud del rifugio.
- Acque provenienti dallo scioglimento estivo della neve recuperate in una vasca sotterranea sottostante il rifugio posta a una profondità tale da non consentirne il congelamento anche durante i mesi invernali. Impianto di microfiltraggio per poterla utilizzare nei bagni e in cucina.

<sup>49</sup> <http://gsvmservizi.it/2016/10/26/upsi-a-2883-metri/>



- Acque di scarico recuperate: acque di scolo e acque grigie riutilizzate per alimentare le vaschette dei wc.<sup>50</sup>

**Periodo di apertura:**

- da marzo a settembre
- locale invernale aperto tutto l'anno<sup>51</sup>

**Descrizione:**

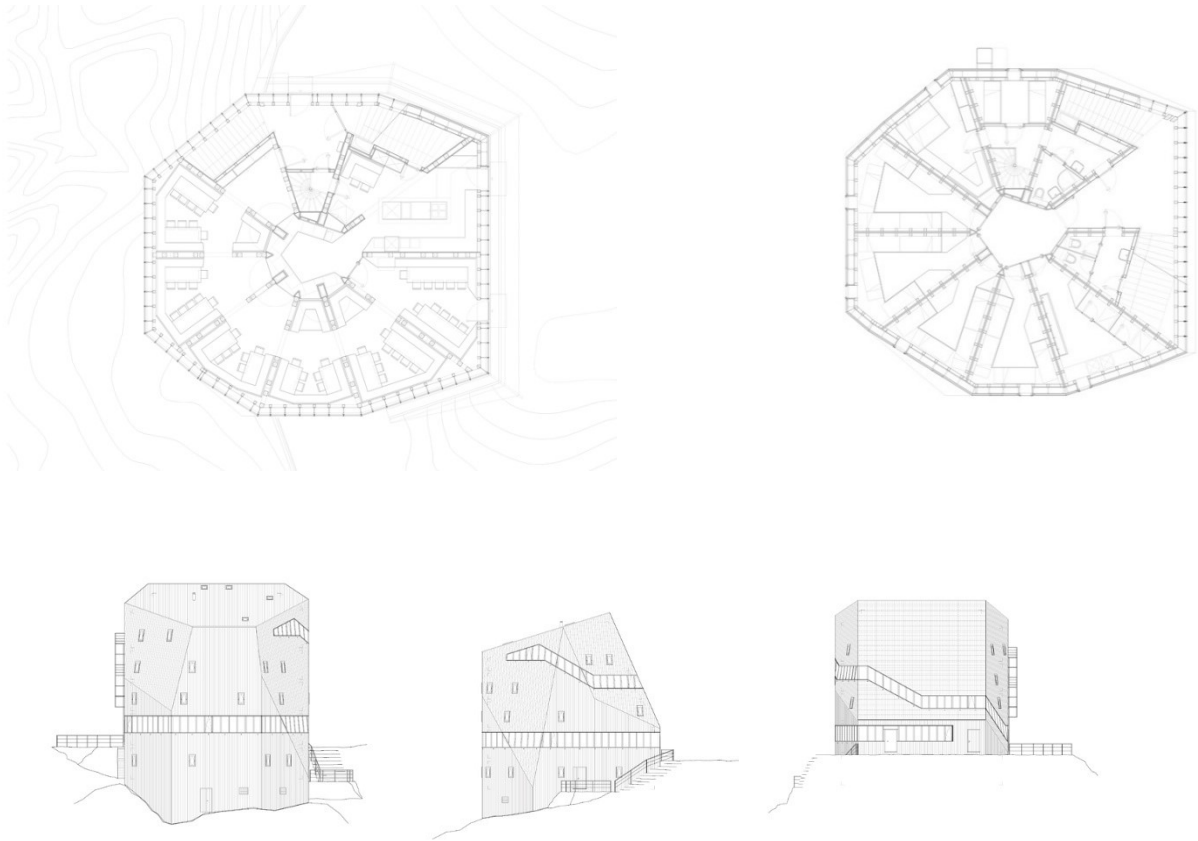
Il Monte Rosa Hütte sorge sull'omonima montagna ad una quota di 2883 m s.l.m. in corrispondenza di un ripido pendio che lo fa integrare alla perfezione con l'ambiente in cui si trova facendolo assomigliare ad uno sperone di roccia scintillante. Il suo rivestimento in alluminio infatti è la prima cosa che si nota e che ne riflette la particolarità. La forma della costruzione è quella di un poligono irregolare disposto su 5 piani: al piano terra si trovano la cucina, la zona pranzo e una grande sala comune, mentre nel resto della struttura sono disposte le camere e i servizi igienici. Le scale che collegano i vari piani si sviluppano costeggiando il perimetro esterno dell'edificio. La forma e la disposizione degli ambienti sono stati progettati e pensati per ottimizzare gli spazi riducendo per quanto possibile l'area superficiale e quindi le dispersioni termiche. Nonostante il design innovativo, i rivestimenti interni sono stati realizzati ispirandosi alla tradizione, con abete rosso e abete per ricreare un clima tipico dei rifugi di montagna. Anche il resto dei materiali utilizzati è stato selezionato con cura per avere un impatto ambientale minimo. I componenti sono stati pensati in modo da essere sufficientemente leggeri da permetterne un facile trasporto tramite elicottero e di essere messi in opera il più rapidamente possibile dopo essere stati appunto prodotti in stabilimento.<sup>52</sup>

---

<sup>50</sup> [https://www.casaenergetica.it/info/viaggi\\_energetici/rifugi/monte\\_rosa\\_hutte.html](https://www.casaenergetica.it/info/viaggi_energetici/rifugi/monte_rosa_hutte.html)

<sup>51</sup> <https://www.sac-cas.ch/it/capanne-e-escursioni/portale-escursionistico-del-cas/monte-rosa-huette-sac-2147000182/>

<sup>52</sup> <https://www.greenme.it/casa-e-giardino/bioedilizia-e-bioarchitettura/neu-monte-rosa-hutte-il-rifugio-di-montagna-ecosostenibile/>



*Figura 12: Pianta e prospetti del Monte Rosa Hütte*

### 2.2.2. Rifugio Gouter



*Figura 13: Rifugio Gouter (2835 m s.l.m.)*

**Località:** Saint Gervais les Bains Francia

**Quota:** 3835 m

**Anno di edificazione:** 2011-2013

**Tempo di realizzazione:** 24 mesi

**Numero di piani:** 4

**Dimensioni del lotto:** 2.000 m<sup>2</sup>

**Superficie lorda complessiva:** 720 m<sup>2</sup>

53

**Costi di costruzione (netti):** 6.500 €/m<sup>2</sup>

**Committente:** Club Alpino Francese (CAF)

**Posti letto:** 120

**Struttura portante:**

- fondazioni in acciaio: piastra sospesa sul versante roccioso sostenuta da 69 pilastri in acciaio affondati nella roccia per più di 10 metri.
- struttura ovoidale con cuore costituito da moduli prefabbricati in legno di abete rosso, abete bianco e larice. Involucro in acciaio inossidabile.



*Figura 14: Immagine del Rifugio Gouter durante la fase di costruzione*



*Figura 15: panoramica della collocazione del Rifugio Gouter*

**Solai e pareti:**

- pannelli in legno

54

**Rivestimenti esterni:**

- acciaio inossidabile su una superficie di 684 m<sup>2</sup>

---

<sup>53</sup> [https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-del-gouter\\_it](https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-del-gouter_it)

<sup>54</sup> [https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-del-gouter\\_it](https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-del-gouter_it)



*Figura 16: interni del Rifugio Gouter*



*Figura 17: struttura portante del Rifugio Gouter*

#### **Copertura:**

- in legno rivestito in acciaio

#### **Isolamento:**

- Isolamento termico con pannelli in fibra di legno riciclato
- Serramenti (Velux) con tripli vetri isolanti dotati di un sistema di ventilazione forzata che consente di recuperare più del 75% dell'energia termica presente nell'aria espulsa.

#### **Impianti:**

- Energia elettrica prodotta per il 20% attraverso impianto fotovoltaico di circa 95 m<sup>2</sup>, integrato con il rivestimento della struttura.
- Acqua calda sanitaria ottenuta mediante pannelli solari termici (50 m<sup>2</sup>) disposti su delle rocce nel pendio sotto l'edificio, i quali consentono il riscaldamento di circa 2000 litri d'acqua, circa l'80% dell'energia termica necessaria
- Impianto a biomassa integrato per alimentare ulteriormente l'impianto di riscaldamento.
- Acque provenienti dallo scioglimento della neve convogliata in un bacino di 300 litri posto sotto la piastra basamentale dell'edificio. La forma affusolata della costruzione permette alle raffiche di vento appunto di far scivolare la neve che vi si deposita direttamente nel bacino di recupero delle acque.

- Sistema di trattamento delle acque di scarico che vengono sterilizzate prima di essere immesse nell'ambiente.

55

#### **Periodo di apertura:**

- Dal 27 maggio al 27 settembre<sup>56</sup>

#### **Descrizione:**

Il rifugio Gouter si trova ad un'altitudine di ben 3835 m di quota sul livello del mare e rappresenta il più alto rifugio della Francia nonché dell'Europa occidentale. È raggiungibile tramite un difficoltoso percorso alpino che porta sul Monte Bianco dal versante francese.<sup>57</sup>

Per renderlo il più ecosostenibile possibile sono stati studiati la forma e i materiali per ridurre al minimo l'impatto ambientale dell'opera: in particolare la forma ovoidale ricoperta con un involucro in acciaio inossidabile ha lo scopo oltre che estetico, di consentire alle forti raffiche di vento che giungono fino a 300 km/h di far scivolare la neve che si deposita sulla struttura nella zona adiacente a essa, in cui si trova il bacino di raccolta della acque che verranno poi utilizzate all'interno del rifugio. La facciata presenta sotto il rivestimento in acciaio inox, un isolamento termico con pannelli in fibra di legno riciclata che riduce al minimo i consumi necessari per riscaldare l'ambiente interno. Il riscaldamento è comunque alimentato da pannelli solari termici posti su delle rocce sottostanti l'edificio integrati con un impianto a biomassa. L'elettricità infine viene in parte fornita dai 95 m<sup>2</sup> di impianto fotovoltaico integrati nelle facciate dell'edificio che lo rendono per quanto più possibile autosufficiente, ad

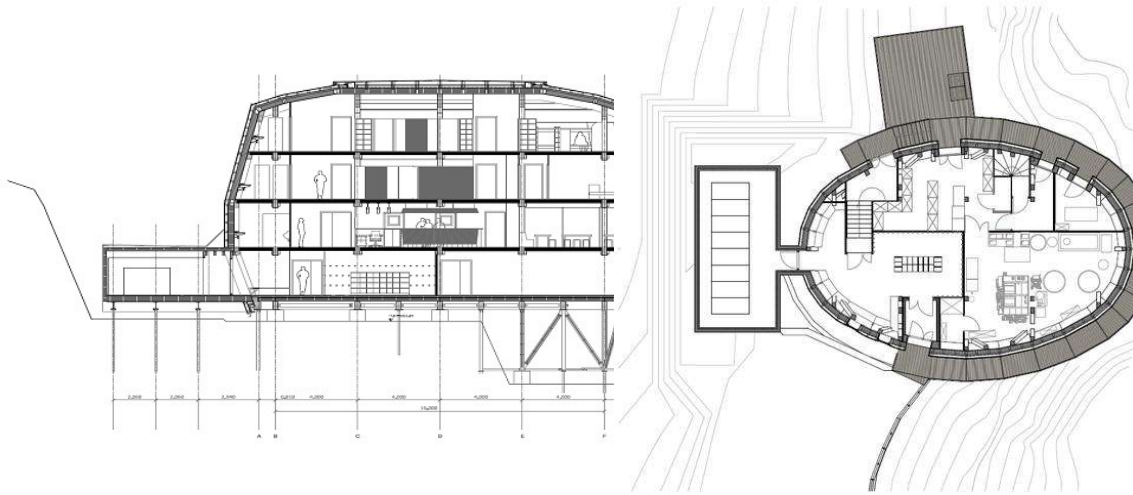
---

<sup>55</sup> [https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-del-gouter\\_it](https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-del-gouter_it)

<sup>56</sup> <https://turismo.saintgervais.com/hebergement-collectif/refuge-du-gouter-ffcam-saint-gervais-les-bains>

<sup>57</sup> <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/i-rifugi-eco-sostenibili-tra-tecnologia-e-risparmio-energetico/>

eccezione del gas necessario per la cottura degli alimenti che invece viene trasportato da valle.<sup>58</sup>



*Figura 18: Sezione e pianta rappresentativa del Rifugio Gouter*

---

<sup>58</sup> <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/i-rifugi-eco-sostenibili-tra-tecnologia-e-risparmio-energetico/>



### 2.2.3. Rifugio Sasso Nero



*Figura 19: Rifugio Sasso Nero (3026 m s.l.m.)*

**Località:** San Giovanni in Valle Aurina, (BZ)

**Quota:** 3026 m

**Anno di edificazione:** 2017

**Tempo di realizzazione:** 8 mesi

**Numero di piani:** 6

**Superficie lorda complessiva:** 510 m<sup>2</sup>

**Costi di costruzione (netti):** 3.893 €/m<sup>2</sup>

**Committente:** Provincia autonoma di Bolzano

59

---

<sup>59</sup> [https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-al-sasso-nero\\_it](https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-al-sasso-nero_it)



**Posti letto:** 50<sup>60</sup>

**Struttura portante:**

- fondazioni prefabbricate in calcestruzzo
- Base in pannelli prefabbricati in calcestruzzo per i piani -2 e -1;
- Struttura in pannelli multistrato (X-Lam) e telaio in legno per i piani 0 e superiori<sup>61</sup>

**Solai e pareti:**

- Pareti realizzate con pannelli OSB a camera isolata
- Orizzontamenti con pannelli massicci in X-Lam <sup>62</sup>



*Figura 20: Interni rifugio Sasso Nero*

**Isolamento:**

- Trasmittanza termica media (pareti/tetto/solaio/serramenti): 0,24 W/m<sup>2</sup>K

---

<sup>60</sup> <https://www.infobuildenergia.it/al-sasso-nero-rifugio-rivestito-rame-alpi/>

<sup>61</sup> [https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-al-sasso-nero\\_it](https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-al-sasso-nero_it)

<sup>62</sup> <https://www.infobuildenergia.it/al-sasso-nero-rifugio-rivestito-rame-alpi/>

- Isolamento colloca la struttura nella categoria CasaClima A (fabbisogno di energia per il riscaldamento <30 kWh/m<sup>2</sup>a) con un consumo energetico medio di 13 kWh/m<sup>2</sup>a

**Rivestimenti esterni:**

- rame su tutta la superficie esterna

**Copertura:**

- in legno rivestito in rame

63

**Impianti:**

- energia elettrica da impianto fotovoltaico di 90 m<sup>2</sup> con batterie di accumulo situate al secondo piano sotterraneo
- acqua calda solo in cucina e nelle docce fornita da collettori solari situati anch'essi in copertura, scambiatore di calore alimentato a energia elettrica se i primi non sono sufficienti
- riscaldamento esclusivamente tramite energia elettrica (le camere non sono riscaldate) <sup>64</sup>

**Periodo di apertura:**

- Dal 17 giugno al 23 settembre <sup>65</sup>

**Descrizione:**

Il rifugio è situato alla forcella di Riatorbo ad un'altitudine di 3.030 m s.l.m. vicino alla frontiera con l'Austria e si configura come un corpo isolato e dalla punta affusolata che segue il pendio in discesa in un piccolo avvallamento del terreno.

Le contenute dimensioni del corpo edilizio che si sviluppa principalmente in verticale, permettono di mantenere libero ed inviolato gran parte del lotto.

Nonostante la sua forza iconica, per forma e materialità il rifugio è percepito

---

<sup>63</sup> [https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-al-sasso-nero\\_it](https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-al-sasso-nero_it)

<sup>64</sup> <https://www.infobuildenergia.it/al-sasso-nero-rifugio-rivestito-rame-alpi/>

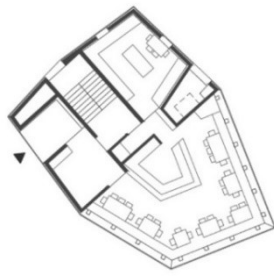
<sup>65</sup> <https://www.schwarzensteinhuetten.com/it/>

come una variazione del paesaggio, fino a confondersi con l'orografia del pendio. Si accede al rifugio da una terrazza in pietra naturale realizzata a secco attraverso una zona di ingresso coperta e fornita di una panca. La bussola di accesso accoglie gli scalatori con un guardaroba dotato di armadietti per il deposito degli zaini, dando direttamente accesso alla Stube. Quest'ultima è arredata semplicemente con una panca perimetrale continua, grandi tavoli e sgabelli. L'unico "lusso" del locale è costituito dal luogo, e dalla vista sul paesaggio circostante che può spaziare dagli Alti Tauri, alle Alpi Zillertaler, al Parco Naturale Vedrette di Ries Aurina fino alla Marmolada. Nell'interrato si trova uno spazio per asciugare vestiti ed attrezzature, i servizi sanitari e locali accessori come depositi, officina e locali tecnici. Ai piani superiori sono collocate le stanze rivolte in ogni direzione a 360° ed i servizi sanitari. Nel sottotetto sono disposti gli alloggiamenti per il gestore ed il personale. Il bivacco invernale con 12 cuccette è integrato al primo piano dell'edificio ed è raggiungibile anche attraverso una scala esterna.

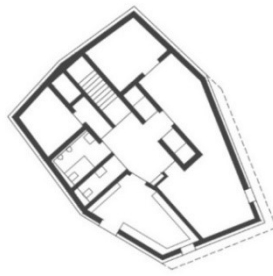
L'intera struttura è realizzata in pannelli prefabbricati con tavole incrociate di abete rosso e gli interni sono eseguiti in larice non trattato. Anche i mobili per la Stube, il bancone, l'ingresso, i dormitori sono realizzati in legno naturale. La facciata esterna è rivestita in rame. L'intera superficie inclinata del tetto verso sud-ovest è coperta da pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica.<sup>66</sup>

---

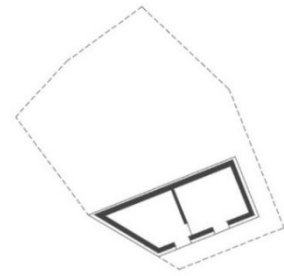
<sup>66</sup> <https://www.provincia.bz.it/costruire-abitare/edilizia-pubblica/riedificazione-rifugio-al-sasso-nero.asp>



Ebene 0 Stube, Küche



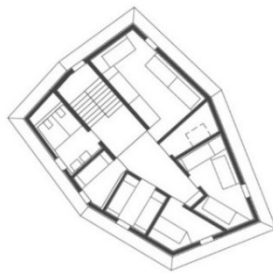
Ebene -1 Nebenräume



Ebene -2 Technik



Ebene +1 Kojen / Gäste



Ebene +2 Kojen / Gäste



Ebene +3 Personal / Pächter

*Figura 21: Piante del Rifugio Sasso Nero*

#### 2.2.4. Rifugio Gonella al Dôme



*Figura 22: Rifugio Gonella al Dome (3072 m s.l.m.)*

**Località:** Val Veny (Monte Bianco), Courmayeur (AO)<sup>67</sup>

**Quota:** 3072 m

**Anno di edificazione:** 2008

**Tempo di realizzazione:** 4 mesi

**Numero di piani:** 4

**Superficie lorda complessiva:** 510 m<sup>2</sup>

---

<sup>67</sup> <https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/legno-lamellare-nuovo-rifugio-gonella-monte-bianco-189>

**Costi di costruzione (netti):** 1.000.000 €

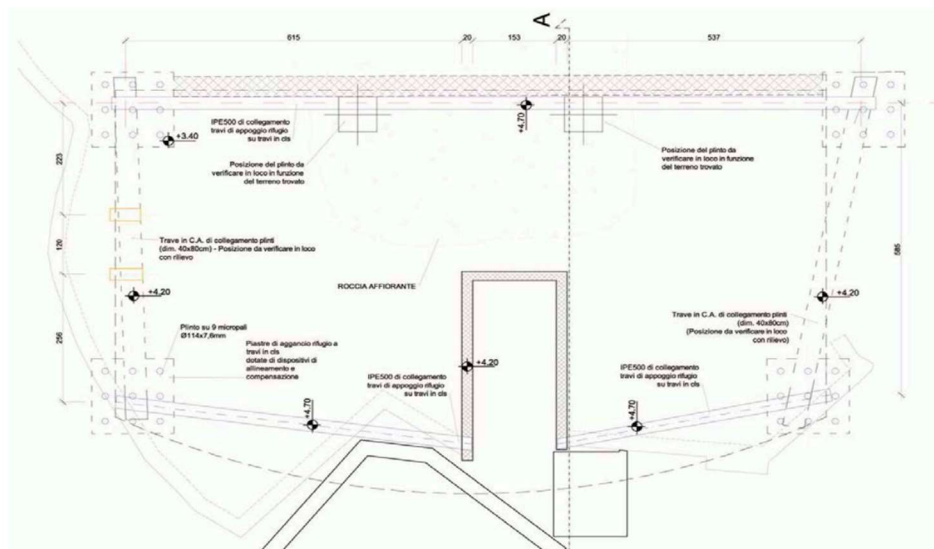
**Committente:** Club Alpino Italiano sezione di Torino

**Posti letto:** 24 + 8 nel locale invernale

**Struttura portante:**

- fondazioni con plinti in calcestruzzo su 9 micropali trivellati ciascuno, collegati con travi in c.a. 40x80 cm
- travi IPE 500 di collegamento tra travi di appoggio rifugio e travi in calcestruzzo di fondazione
- struttura a telaio realizzata con legno lamellare
- aree esterne realizzate con griglie sospese e sorrette da una struttura metallica

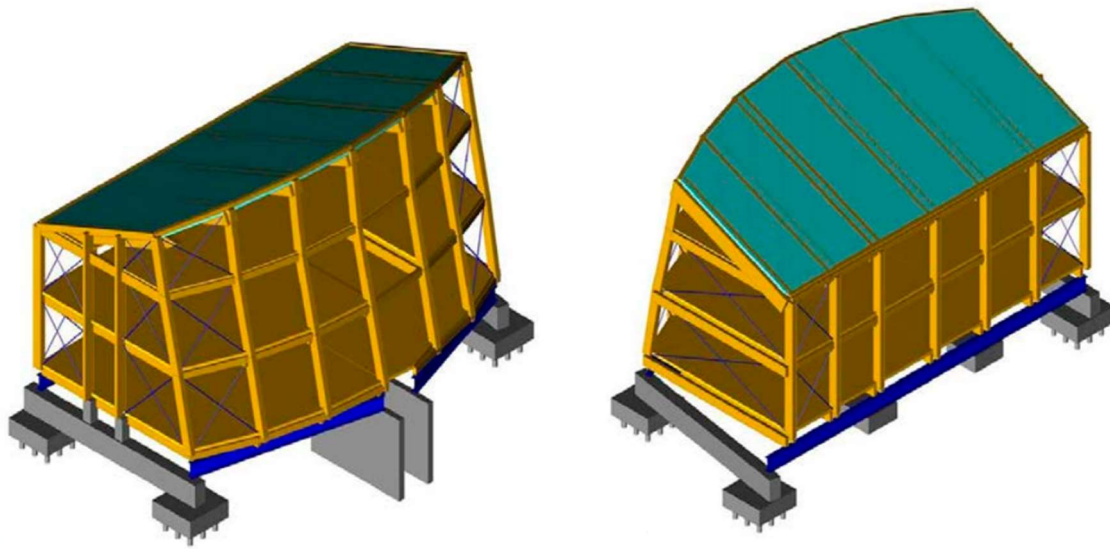
68



*Figura 23: Pianta delle fondazioni del Rifugio Gonella*

<sup>68</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)





*Figura 24: Struttura portante del Rifugio Gonella*



*Figura 25: Dettaglio elementi di sostegno plateatico nel Rifugio Gonella*

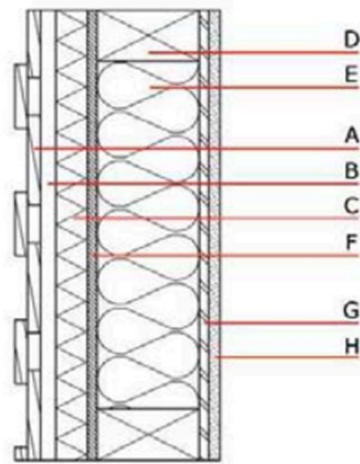
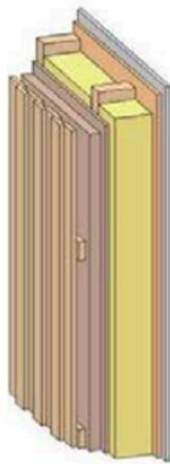
### **Solai e pareti:**

- Pareti realizzate con pannelli sandwich prefabbricati in legno e coibentati internamente
- Orizzontamenti con pannelli in legno prefabbricati

## Isolamento:

- Lana di legno a bassa densità (sp. 50 mm)
- Lana di vetro (sp. 240 cm)
- Serramenti in alluminio a taglio termico Schuco con vetri a doppia camera basso emissivi extrachiari (K = 0,9 W/m<sup>2</sup>)

Parete esterna - costruzione itelaiata di telaio, non retroventilato, senza vano tecnico, rivestita



r.

### Valutazione fisico-costruttiva ed ecologica

Protezione dal fuoco	F	60
	REI	60

Valutazione effettuata da IBS

Protezione termica	U[W/m <sup>2</sup> K]	0,15
	Comportamento alla diffusione	idoneo
	m <sub>wa</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	35,2

Calcolo effettuato da HFA

Protezione dal rumore	R <sub>w</sub> (C,C <sub>v</sub> )	53 (-1; -6)
	L <sub>nw</sub> (C)	-

Valutazione effettuata da MA39

Ecologia*	OI <sub>3</sub> kin	12,8
-----------	---------------------	------

Calcolo effettuato da IBO

### Dati dei materiali per la costruzione, composizione degli strati

(dall'esterno all'interno, dimensioni in mm)

	Spessore	Materiale da costruzione	Protezione termica				Combust.	
			λ	μ min - max	ρ	c	ON	EN
A	24,0	Legno di larice Rivestimento della parete esterna	0,150	50	600	2,500	B2	D
B	24,0	Legno di abete con listellatura trasversale	0,110	50	400	2,500	B2	D
C	50,0	Pannello di lana di legno a bassa densità	0,090	2 - 5	370	2,000	B1	B
D	15,0	MDF	0,120	11	600	1,700	B1	D
E	240,0	Legno da costruzione (60/...; e=625)	0,110	50	400	2,500	B2	D
F	240,0	Lana di vetro [0,040; R=16]	0,040	1	16	1,030	A	A2
G	15,0	OSB (incollato in modo impermeabile)	0,130	200	680	1,700	B2	D
H	15,0	Pannello gessofibra rispettivamente 18 mm CKF	0,360	11	1150	1,100	A2	A2

69

Figura 26: Stratigrafia pareti Rifugio Gonella

<sup>69</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)



### Rivestimenti esterni:

- Lamiera di alluminio tipo “profilo estruso ondulato PREFA”
- Lamiera di alluminio ondulata sinusoidale

### Copertura:

- in legno rivestito in alluminio

70

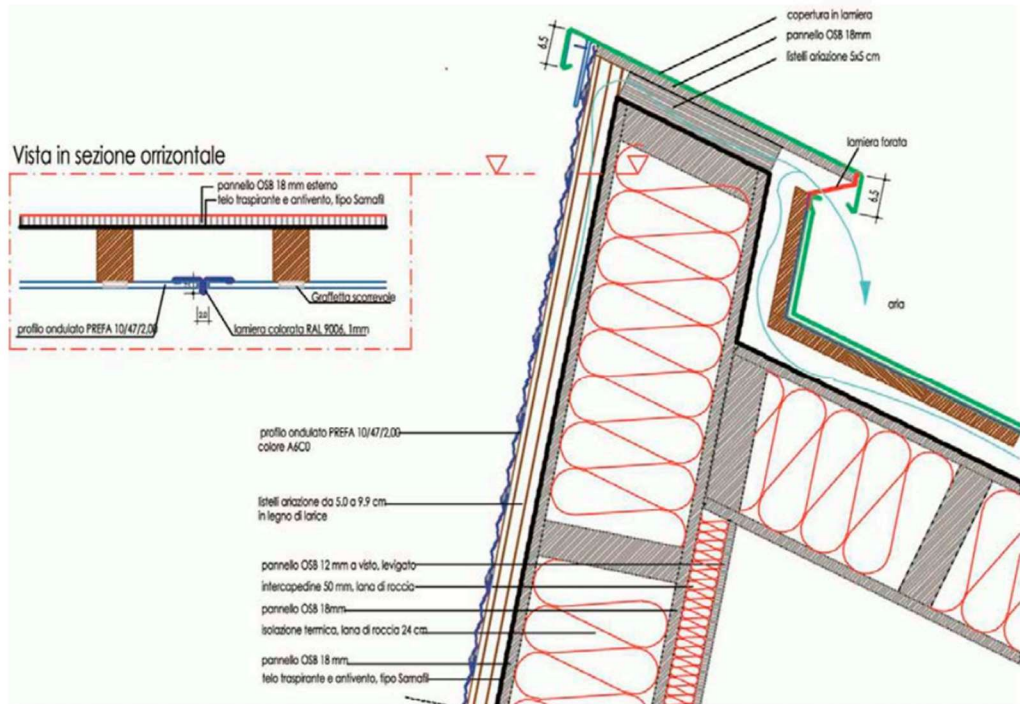


Figura 27: Dettagli unione pareti negli spigoli dell'involucro del Rifugio Gonella

<sup>70</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)

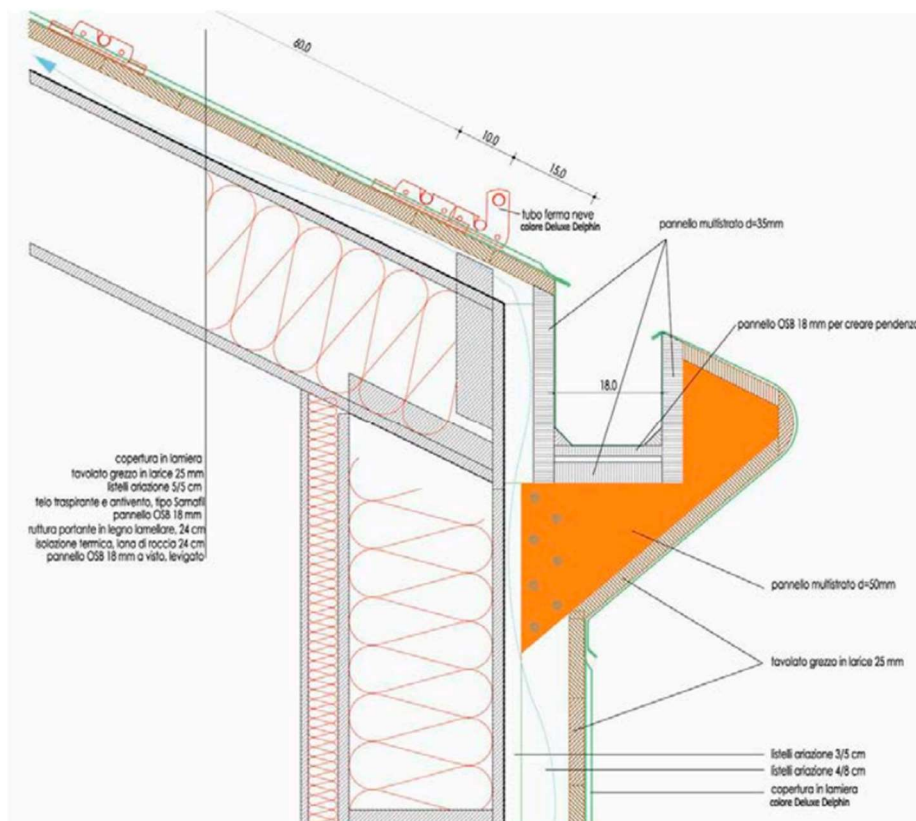


Figura 28: Dettagli unione pareti negli spigoli dell'involucro del Rifugio Gonella

### Impianti:

- energia elettrica prodotta da 30 moduli fotovoltaici (4 kWh di picco) e da un piccolo generatore a combustibile fossile per le emergenze
- riscaldamento degli ambienti tramite pannelli solari ad aria che grazie a piccoli ventilatori alimentati da celle fotovoltaiche integrate spingono l'aria calda che si raggiunge nelle ore soleggiate verso l'interno dell'edificio
- Impianto attivo per la produzione di calore alimentato da una stufa a pellet collegata a tutti i piani dell'edificio
- Vasca di raccolta delle acque
- Impianto di smaltimento delle acque reflue

71

<sup>71</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)

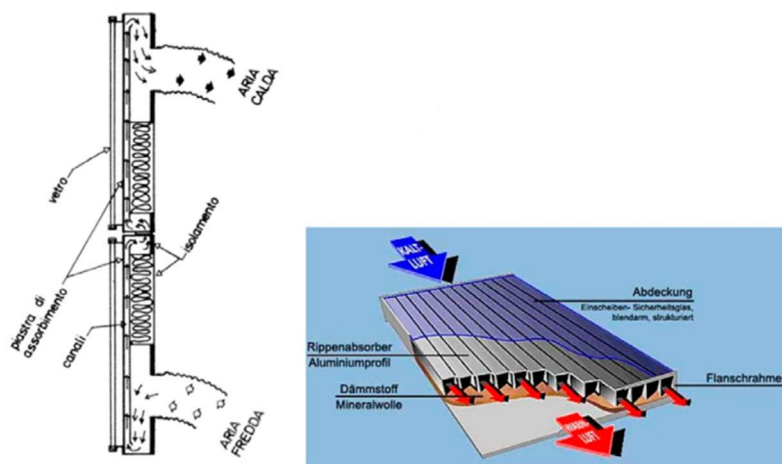


Figura 29: Pannelli solari ad aria installati nel Rifugio Gonella

**Periodo di apertura:**

- Dal 10 giugno al 31 luglio<sup>72</sup>

**Descrizione:**

Il progetto del nuovo rifugio Gonella esprime al massimo la sensibilità sulle tematiche ambientali realizzando un edificio per quanto possibile ecologico che riduce al massimo l’aspetto delle emissioni oltre che dell’impatto in un territorio incontaminato. L’edificio è infatti progettato in modo da ridurre sia l’inquinamento di acqua e aria durante la sua vita utile, sia le emissioni per costruirlo, montarlo e al termine rimuoverlo. Prende il posto di una costruzione precedente che va a sostituire e la sua forma si unisce alla perfezione con l’andamento della roccia frastagliata su cui sorge, dandole continuità. Anche le aree esterne sono state realizzate su griglie sospese di rete metallica sorrette da una struttura palificata in acciaio, questo per non andare ad alterare in modo troppo significativo e invasivo la morfologia naturale del terreno. I materiali da costruzione utilizzati per la realizzazione sono essenzialmente due: il legno e il

---

<sup>72</sup> <https://www.caitorino.it/rifugi/gonella/>

metallo. Il legno viene solitamente scelto in quanto materiale leggero e più facile da trasportare rispetto a quello utilizzato per strutture in calcestruzzo o muratura. Inoltre, dona al fabbricato isolamento, elasticità leggerezza e confort, aspetti di fondamentale importanza soprattutto per una struttura che sorge in un ambito delicato come quello dell'alta montagna. Il rivestimento metallico, già utilizzato in precedenza in altri rifugi, unito al legno, conferisce caratteristiche vincenti per resistere alle forti azioni meteoriche di questi luoghi. Il telaio è realizzato interamente in legno lamellare, solai e pareti costituiti da pannelli sandwich con vari strati lignei e di isolante, permettono di ottenere una costruzione robusta, leggera e in grado di tollerare anche notevoli deformazioni che un terreno come quello alpino può subire negli anni. L'autonomia dal punto di vista energetico viene ricercata per quanto possibile attraverso la riduzione dei consumi e lo sfruttamento passivo delle risorse naturali. Secondo i parametri forniti dall'agenzia CasaClima della Provincia Autonoma di Bolzano, infatti, il consumo annuale di questo edificio dovrebbe essere di 37kWh/m<sup>2</sup> e con un'efficienza impiantistica di circa 31,45 kWh/m<sup>2</sup> l'edificio si colloca tra la classe A e B.<sup>73</sup>

Dal punto di vista dell'involucro, infatti, il Gonella è stato isolato con due strati di materiale differente e dalla diversa densità, senza trascurare l'eliminazione di tutti i ponti termici. I serramenti ad altissime prestazioni permettono di massimizzare il guadagno solare (tutta la facciata rivolta a sud è composta da vetri) riducendo al minimo le dispersioni di calore verso l'esterno. Oltre alle vetrate, per sfruttare passivamente le risorse ambientali sono stati posti dei pannelli solari ad aria (Grammer Twin Solar) che convogliano quella temperatura delle ore calde del giorno all'interno della struttura grazie all'ausilio di ventilatori alimentati da piccole celle fotovoltaiche integrate. Un impianto di ventilazione forzata tramite sensori di temperatura e di CO<sub>2</sub> gestisce il ricambio dell'aria

---

<sup>73</sup> <https://www.regione.vda.it/allegato.aspx?pk=33887>





*Figura 31: Schema controventi in acciaio sulle vetrate del Rifugio Gonella*



### 2.3. I bivacchi moderni

Oltre ai rifugi può essere utile valutare le caratteristiche di altri edifici che sorgono in condizioni ambientali simili se non a volte peggiori. I bivacchi rappresentano infatti, fin dalla loro nascita, l'equivalente di un piccolo rifugio autogestito, di dimensioni molto più contenute che possano fornire un riparo e un luogo sicuro dove riposarsi agli alpinisti che li raggiungano. Essi racchiudono solo il fondamentale per la sosta e per il trascorrere della notte ma essendo situati nelle zone più impervie e usufruendone in tutto il periodo dell'anno (compreso quello invernale), devono assicurare prestazioni da parte dell'involucro piuttosto elevate.



*Figura 32: Foto rappresentativa di un bivacco*

Si valutano alcuni dei più moderni e innovativi di questi:

### 2.3.1. Bivacco Clapier



*Figura 33: Bivacco Clapier (2477 m s.l.m.)*

**Località:** Colle Clapier, Giaglione (TO) tra Francia e Italia

**Quota:** 2477 m

**Anno di edificazione:** 2014

**Tempo di realizzazione:** installato il 10/10/2011 e ultimato il 22/06/2012

75

**Superficie netta complessiva:** 15 m<sup>2</sup> (5x3 m in pianta per un'altezza massima di 3,70 m)

---

<sup>75</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)



**Committente:** CAI sezione di Torino, scuola di scialpinismo SUCAI

**Posti letto:** 8 persone (6 su cuccette fisse e 2 su cuccette ribaltabili), più 4 in condizioni di emergenza

76

### Struttura portante:

- Struttura a telaio in legno lamellare
- Pareti in pannelli sandwich di legno con interposto uno strato di isolamento termico (sp. 16 cm)

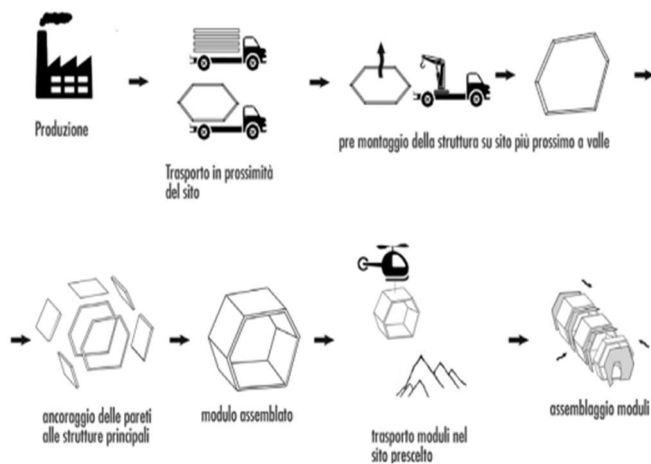


Figura 34: Processo produttivo del Bivacco Clapier



Figura 35: Assemblaggio del Bivacco Clapier con elicottero

### Isolamento:

- 16 cm di lana di vetro interposta all'interno dei pannelli delle pareti

---

<sup>76</sup> <https://www.imuntagnin.it/bivacco-col-clapier.html>

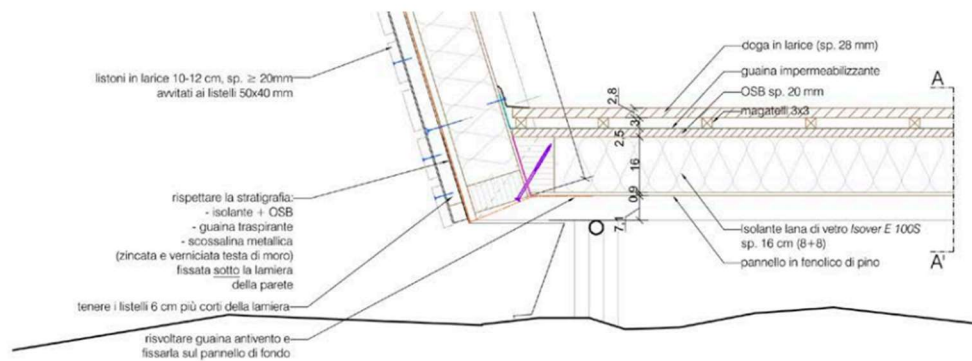


Figura 36: Dettaglio stratigrafia pareti e isolamento del Bivacco Clapier

**Rivestimento esterno:**

- Lamiera grecata di protezione
- Tavoloni in larice sulla parete d'ingresso

77

**Dotazioni impiantistiche:**

- Pannello fotovoltaico alimenta due punti luce interni e uno crepuscolare esterno
- Pannello solare ad aria fornisce un minimo di riscaldamento e rimozione dell'umidità interna<sup>78</sup>

**Periodo di apertura:**

- Tutto l'anno

<sup>77</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)

<sup>78</sup> <https://www.imuntagnin.it/bivacco-col-clapier.html>

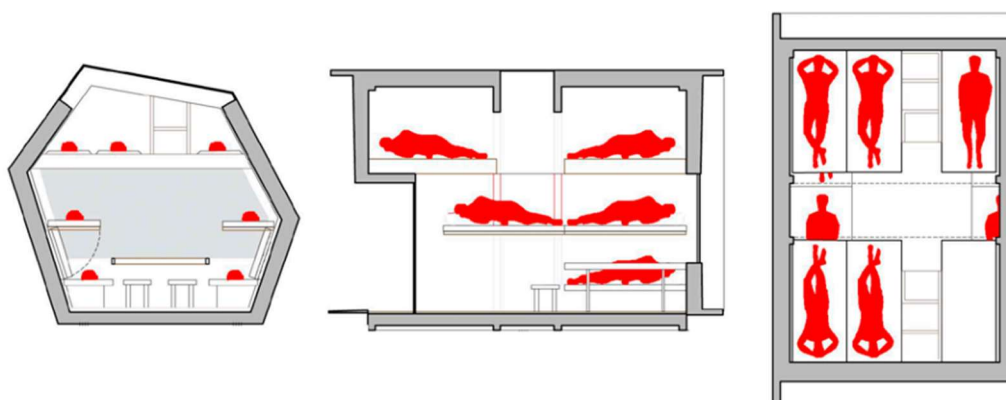


*Figura 37: Render dell'interno del Bivacco Clapier*

**Descrizione:**

Bivacco realizzato dai Comuni di Bramans e di Gaglione (TO) ed inaugurato il 4 ottobre 2014 nei pressi di Colle Clapier a 2477 m s.l.m. a supporto di un progetto denominato "Sulle tracce di Annibale" che prevede un cammino tematico lungo 25 km che segue, con forti probabilità quello percorso da Annibale per attraversare le Alpi nel 218 a.C. Il sentiero parte da Bramans, in Francia, e arriva a Gaglione, in Italia. Il bivacco è dunque stato inserito a metà di questo lungo tragitto con la funzione di essere d'appoggio agli escursionisti di passaggio. La disposizione degli arredi è pensata per sfruttare al meglio le piccole dimensioni interne del fabbricato di appena 15 m<sup>2</sup>, che grazie a dei letti ribaltabili può ospitare fino a 12 persone a dormire. Un'ampia vetrata non apribile fornisce luce e una buona veduta sul paesaggio. Dal punto di vista strutturale invece il bivacco è realizzato con uno scheletro a telaio di legno lamellare a cui sono state applicate delle pareti in pannelli sandwich contenenti uno strato di 16 cm di isolamento termico. La superficie più esterna è rivestita con una membrana traspirante completamente sigillata e ricoperta con una

lamiera grecata di protezione e da tavoloni di larice sulla parete d'ingresso. Tutte le lastre lignee sono state incollate con resine fenoliche sia per garantire la durata dell'incollaggio, sia per evitare infiltrazioni d'acqua o la formazione di condensa. Gli impianti installati sono costituiti da un pannello solare ad aria che garantisce, grazie all'irraggiamento, un minimo di riscaldamento oltre che la rimozione dell'umidità interna grazie a un kit di ventilazione. Oltre a questo, due punti luce interni temporizzati e uno esterno con sensore crepuscolare permette al bivacco di essere visibile anche di notte, sono alimentati da un pannello fotovoltaico. Non è presente acqua corrente ma a pochi minuti a piedi dal bivacco si trova una fonte potabile.<sup>79</sup>

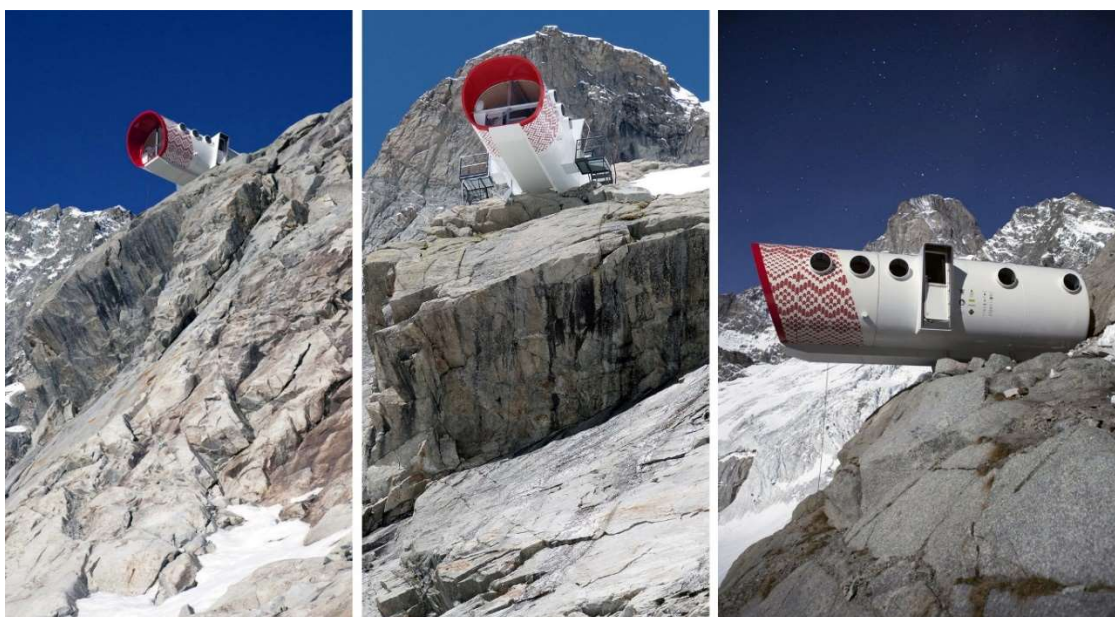


*Figura 38: Posizionamento posti letto del Bivacco Clapier*

---

<sup>79</sup> <https://www.cantieridaltaquota.eu/un-nuovo-bivacco-sulle-tracce-di-annibale/?amp=1>

### 2.3.2. Nuova Capanna Gervasutti



*Figura 39: Nuova Capanna Gervasutti (2835 m.s.l.m.)*

**Località:** Ghiacciaio di Frebouzie, Courmayeur, Val Ferret (AO)

**Quota:** 2835 m

**Anno di edificazione:** 2011

**Tempo di realizzazione:** installato il 10/10/2011 e ultimato il 22/06/2012

**Numero moduli LEAP s1:** 4

**Superficie lorda complessiva:** 29 m<sup>2</sup>

**Costi di costruzione (netti):** 200.000 €

**Committente:** CAI sezione di Torino, scuola di scialpinismo SUCAI<sup>80</sup>

---

<sup>80</sup> <https://www.area-arch.it/bivacco-gervasutti/>

**Posti letto: 12**

**Struttura portante:**

- Basamento in calcestruzzo
- Struttura portante a involucro modulare di tipo “sandwich” in vetroresina

81



*Figura 40: Assemblaggio moduli Capanna Gervasutti tramite elicottero*

**Resistenza meccanica:**

- carico accidentale interno: 4 kN/m<sup>2</sup>
- sovraccarico neve: 7 kN/m<sup>2</sup>
- resistenza al vento su superficie laterale: 130 kN/m<sup>2</sup>

**Isolamento:**

- Isolamento inserito all'interno della scocca in vetroresina esterna

**Interni:**

- Finiture in legno
- Pavimento realizzato con un particolare tipo di PVC 100% riciclato

---

<sup>81</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)





*Figura 41: Interni Nuova Capanna Gervasutti*

#### **Dotazioni impiantistiche:**

- Pannelli fotovoltaici in copertura da 2,5 kWh con batteria di accumulo Zhero ecologica che sfrutta l'elettrolisi del sale in acqua (sodio-nichel)
- Pc/autodiagnosi e monitoraggio remoto
- Connessione internet satellitare
- Sensore di temperatura e umidità relativa
- Sensore CO<sub>2</sub> interna con sistema di ricambio aria meccanico
- Radio soccorso

83

#### **Periodo di apertura:**

- Fino al 31 dicembre 2100

---

<sup>82</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)

<sup>83</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)

**Descrizione:**

A quota 2.837 m, sul ghiacciaio del Fréboudze (Courmayeur, Aosta) è nato nel 1948 un rifugio in memoria di un noto alpinista piemontese, Giusto Gervasutti ma la capanna, dopo molti anni era in condizioni strutturali problematiche. Al posto della vecchia, ammalorata struttura, è stato realizzato un bivacco dalle linee futuriste, innovativo ed ecologico che, per materiali e forma, si ispira alle fusoliere degli aerei. La vivace colorazione esterna, facilmente visibile dalla larga distanza, fornisce un punto di riferimento ben riconoscibile agli alpinisti in avvicinamento. È stato installato sul Monte Bianco, Courmayeur, Aosta, nell'Ottobre del 2011. La scocca portante in vetroresina, molto simile alle barche da regata più sofisticate, leggere ma di grande resistenza. Le strutture sono sotto forma di un guscio composito a sandwich che può fornire resistenza alla pressione meccanica e isolamento termico, garantendo efficienza energetica. Inoltre, la prefabbricazione ha reso possibile ridurre tempi e costi d'installazione. La forma, i materiali e la tipologia costruttiva sono state studiate per adattarsi alle condizioni climatiche estreme (vento, pioggia, neve), tipiche di queste zone montane. L'intera struttura pesa quasi 3 tonnellate (600kg a modulo) ed è costata, compreso i costi di smantellamento della vecchia capanna, circa 200.000 euro.<sup>84</sup>

La confortevole finitura interna in legno ricorda una baita tradizionale, la zona giorno è illuminata da una grande finestra panoramica ellittica in acrilico rivolta verso la valle e contiene una cucina, un tavolo e posti a sedere. La zona notte è dotata di letti a castello e spazi per lo stoccaggio degli attrezzi. L'intero edificio è stato pensato e ideato come una serie di spicchi già preconfezionati in officina. I singoli pezzi, poi, sono stati trasportati sul posto con un elicottero e assemblati con pochi uomini ed in breve tempo in alta quota. Il bivacco Gervasutti è dotato di tecnologie di ultima generazione, che lo rendono un sistema autonomo e

---

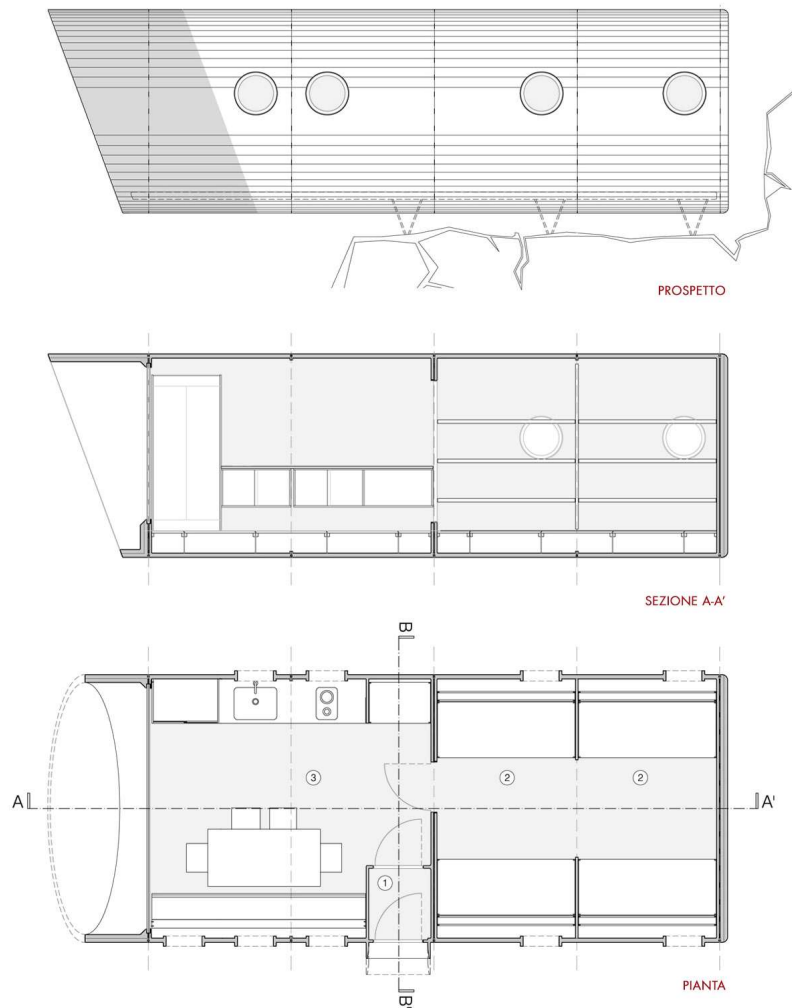
<sup>84</sup> <https://ecologico.altervista.org/bivacco-gervasutti-prefabbricazione-estrema/>



autosufficiente dal punto di vista energetico. L'energia elettrica è fornita da moduli fotovoltaici posti sul tetto dell'edificio con una batteria di accumulo (Zhero) di ultima generazione e del tutto ecologica: sfrutta l'elettrolisi del sale in acqua (sodio-nichel). I pannelli fotovoltaici integrati nel guscio esterno della capanna producono 2,5 kWh di energia solare. Un pc connesso ad internet e integrato alla struttura, è in grado di trasmettere i dati relativi alla salute dell'edificio e all'ambiente circostante, via web. Ricerca, innovazione e sostenibilità sono alla base del progetto oltre che una particolare attenzione volta al tema della modularità e della replicabilità. La struttura modulare consente, infatti, una eventuale futura espansione e la possibilità di sostituire parti danneggiate durante la vita del modulo.<sup>85</sup>

---

<sup>85</sup> <https://ecologico.altervista.org/bivacco-gervasutti-prefabbricazione-estrema/>



*Figura 42: Prospetto e sezioni Nuova Capanna Gervasutti*

Essendo questo tipo di edificio pensato per poter essere installato anche in altri ambienti montani accomunati comunque da condizioni climatiche simili, è stato ripreso anche nei monti caucasici della Russia a quasi 4000 m di altitudine dove sono state realizzate più unità, una accanto all'altra, a formare un intero campus d'alta quota. Prende così vita LEAPrus 3912: l'eco-hotel prefabbricato più alto del mondo dove ognuna delle quattro strutture modulari prefabbricate (che coprono una superficie interna totale di 139 m<sup>2</sup> e che contano 49 posti

letto) contiene servizi diversi. Si dotano inoltre di impianti tecnologici all'avanguardia come quelli del bivacco Gervasutti con l'aggiunta di un riscaldamento a pavimento, mentre per alimentare l'impianto idrico sanitario è stato implementato un sistema di fusione della neve.<sup>86</sup>

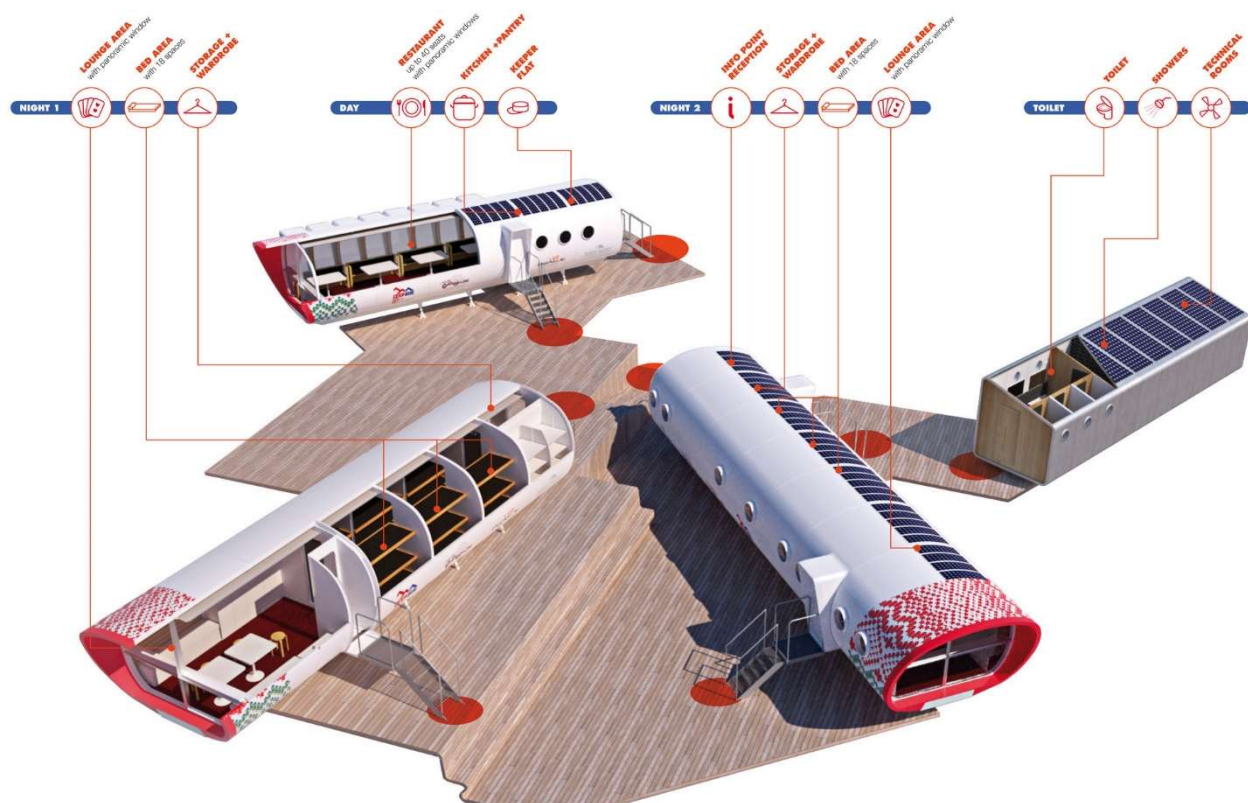


Figura 43: eco-hotel prefabbricato LEAPrus 3912 (Russia, 3912 m.s.l.m.)

<sup>86</sup> [http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP\\_TORINO\\_RESTRUCTURA.pdf](http://www.cantieridaltaquota.eu/download/WORKSHOP_TORINO_RESTRUCTURA.pdf)

### 3 Caratteristiche dei rifugi moderni

Dopo aver visto l'evoluzione storica dal punto di vista architettonico, tecnologico e delle esigenze dei rifugi alpini, si possono analizzare quali siano quelle odierne e quali aspetti debbano essere maggiormente sviluppati e tenuti in considerazione per realizzare una struttura funzionale ed efficiente.

#### 3.1. Contesto paesaggistico

Prima di ogni altra cosa si deve valutare la posizione su cui sorgerà la struttura, tenendo conto del fatto che le esigenze degli utilizzatori della stessa sono mutate e si sono evolute nel corso del tempo. Se inizialmente infatti si trattava di ripari di fortuna in grado di dare esclusivamente un posto in cui sostare e passare la notte agli alpinisti, oggi è considerato molto di più l'aspetto paesaggistico e architettonico della struttura stessa. Lo stile di vita delle persone evolvendosi ha portato ad una frequentazione della montagna sempre più veloce, concentrandola nei weekend tra una settimana lavorativa e l'altra e modificando anche la tipologia di utenza che è passata da quella primordiale prettamente alpinistica, a contare sempre più sportivi che si dedicano alle attività di mountain bike, downhill, canyoning, scii, parapendio e di trekking finalizzati più al godimento del paesaggio che alla conquista delle vette.

I rifugi si adeguano quindi alle esigenze dei visitatori che spesso vogliono fare esperienze in grado di lasciare loro un segno nella memoria. I progettisti si dedicano a soddisfare queste richieste sia attraverso architetture e forme particolari, sia mediante l'ubicazione degli edifici in contesti paesaggistici particolarmente suggestivi che vengono ulteriormente valorizzati con la realizzazione di terrazze panoramiche e grandi vetrate, in modo da consentire agli ospiti di godere al meglio del paesaggio circostante. Spesso le strutture realizzate finiscono anche pubblicate nelle riviste di architettura perché innovative.

Contesto paesaggistico, modalità di raggiungimento e accesso al rifugio da parte degli ospiti saranno dunque il primo aspetto da valutare e da ottimizzare per ottenere un'opera funzionale anche dal punto di vista dell'effettivo afflusso turistico che ne deve usufruire.

Oltre che dal punto di vista estetico però, come si è visto nei casi studio riportati precedentemente, la forma della struttura deve essere ottimale sia a resistere alle forti sollecitazioni impresse da vento e neve, sia a minimizzare le dispersioni termiche verso l'esterno adottando una superficie esposta quanto più contenuta possibile.

### 3.2. Ecosostenibilità

L'altro tema che si è sviluppato maggiormente nell'arco degli ultimi decenni di edilizia montana d'alta quota è quello della sostenibilità ecologica. Il rispetto per l'ambiente diventa un tema centrale in particolare in zone incontaminate e dalla bellezza indiscussa come quelle dell'alta montagna. Ne viene tenuta considerazione sia durante la costruzione dell'edificio, sia nelle fasi di gestione nel corso della sua vita, infine prevedendone lo smaltimento una volta che questa sarà giunta al termine.

Il riguardo per questi valori viene quindi osservato tramite la scelta dei materiali con cui vengono realizzate le strutture, la riduzione dell'inquinamento, l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili, l'utilizzo di accorgimenti che sfruttino in modo passivo le risorse ambientali, la previsione alla fine della vita utile dello smantellamento e del riciclo dell'edificio.

Si vedono di seguito tutti questi aspetti che incorrono a rendere una costruzione ecosostenibile e capace di provvedere al proprio fabbisogno energetico:

#### · Materiali

Per quanto riguarda i materiali, si è visto che per gli edifici della tradizione venivano solitamente utilizzati quelli reperibili nelle immediate vicinanze del sito

su cui doveva sorgere la costruzione. Il trasporto delle materie prime e delle attrezzature in luoghi non serviti da strade carrabili risulta infatti da sempre un fattore limitante per l'edilizia d'alta quota. Sicuramente la pietra è stato uno dei materiali più utilizzati del passato per la realizzazione dei muri in quanto più largamente disponibile, oltre a questa anche l'abbondanza di boschi ha indotto la scelta di utilizzare il legno per la fabbricazione soprattutto di solai e coperture. Molto diffuso inoltre l'utilizzo del legno anche per le pareti con il modello del blockbau, ovvero con la sovrapposizione di tronchi di legno incastrati agli angoli. Frequente anche la presenza di edifici in cui il basamento e gli strati inferiori venivano realizzati in pietra, mentre per i piani superiori più leggeri si sceglieva il legno come materiali da costruzione principale.

Con l'avvento dell'elicottero il problema della dislocazione dei materiali non è più insormontabile e si può costruire con maggiore facilità anche in zone più difficilmente raggiungibili. Il fattore limitante rimane comunque il peso delle varie componenti che devono essere portate in volo sul sito di costruzione ma, proprio nel rispetto della tradizione, il legno diventa la scelta più utilizzata e sensata perché meglio si presta al caso. Con il suo impiego si riescono a costruire strutture leggere e dalle elevate prestazioni meccaniche. Anche i tamponamenti vengono solitamente realizzati con pannelli sandwich in materiale ligneo dotati di strati coibentanti al loro interno: essi soddisfano caratteristiche di leggerezza, isolamento termico e facilità di montaggio.

Anche la posa in opera della struttura è un fattore limitante in condizioni ambientali come quelle dell'alta montagna: le stagioni estive corte, le intemperie e la presenza di importanti quantità di neve nel restante periodo dell'anno, richiedono che le lavorazioni debbano essere svolte in un periodo di tempo limitato. Si decide quindi solitamente di adottare la strategia di produrre in stabilimento quanto più possibile e di svolgere ad alta quota solo l'assemblamento finale delle componenti.

Per proteggere la delicata struttura lignea da tutti gli agenti atmosferici che andrebbero a colpirla, la strategia vincente si è dimostrata essere quella di adottare rivestimenti metallici come a generare una “pelle” esterna all’edificio. Nei vari casi considerati per la realizzazione di questa sorta di guscio si è visto utilizzare alluminio, acciaio inossidabile e rame.

Di particolare interesse sono anche i materiali che devono ottemperare alla funzione di isolamento termico dell’involucro, aspetto che nei rifugi del passato veniva spesso trascurato ma che permette di minimizzarne il fabbisogno di energia. Si sono utilizzati a tale scopo, all’interno dei pannelli di tamponamento di pareti e coperture, strati di lana di vetro, lana di legno e fibra di legno riciclata aventi diversi spessori a seconda delle necessità.

Si conclude con le fondazioni che vengono solitamente realizzate creando una base in calcestruzzo armato su cui giacerà l’edificio. Nonostante questa scelta venga ancora oggi utilizzata in modo diffuso perché il calcestruzzo fornisce elevate prestazioni meccaniche, si è visto in alcuni dei casi sopracitati che l’opzione meno invasiva e soprattutto reversibile consiste nell’adottare fondazioni in acciaio o comunque puntuali con micropali inseriti nello strato roccioso. Questa scelta è infatti la più rispettosa per l’ambiente in quanto consente, una volta terminata la vita utile del fabbricato, di rimuovere completamente la struttura fino anche agli elementi che ne costituiscono il basamento, operazione molto più complicata da effettuare nel caso di fondazioni in cemento armato.

- **Impianti**

La collocazione dislocata e a quota elevata dei rifugi alpini non consente solitamente l’utilizzo delle reti pubbliche per l’approvvigionamento di energia, né di acqua e tantomeno per lo scarico delle acque reflue.

Sorge quindi la necessità di ottemperare a tali bisogni utilizzando metodi alternativi e preferibilmente ecologici, sfruttando quanto più possibile le

caratteristiche contesto climatico in cui si trova l'edificio, sia in modo attivo che passivo.

L'irraggiamento solare diventa certamente una delle principali sorgenti da cui trarre beneficio: innanzitutto in modo passivo con la realizzazione di aperture vetrate (preferibilmente rivolte a sud) che conferiscano, nei giorni soleggiati, luminosità all'interno dell'edificio senza l'utilizzo di luce artificiale oltre che un riscaldamento passivo degli ambienti interni. Questo viene favorito in alcuni casi da pannelli solari da aria che tramite l'utilizzo di piccoli ventilatori alimentati a elettricità convogliano l'aria calda all'interno consentendone il ricambio.

In modo attivo l'energia solare viene invece sfruttata mediante l'installazione di pannelli fotovoltaici e di batterie di accumulo che consentono di produrre e immagazzinare energia elettrica. Può essere inoltre sfruttata anche tramite il posizionamento di un sistema solare termico che consente di ottenere sia acqua calda sanitaria che il riscaldamento degli ambienti.

Viene comunque di norma inserito un generatore di corrente a combustibile fossile che entra in funzione per lo meno in caso di emergenza. Il riscaldamento se necessario può essere garantito mediante il posizionamento di impianti attivi come stufe alimentate a legna o pellet, oppure termosifoni elettrici.

L'approvvigionamento idrico, altro grande problema di cui occuparsi, deve garantire la disponibilità della risorsa durante tutto il periodo di apertura della struttura ricettiva e viene valutato caso per caso. Nell'eventualità in cui siano presenti delle fonti d'acqua nelle vicinanze come sorgenti, torrenti, laghi o ghiacciai queste vengono sicuramente sfruttate in quanto garantirebbero un afflusso continuo e non vi sarebbero problemi di scarsità di questa. Non sempre purtroppo i rifugi sorgono in prossimità di fonti idriche da cui trarre beneficio e si ripiega quindi all'installazione di vasche di accumulo per immagazzinare quanta più acqua piovana possibile oltre che per raccogliere quella derivante dallo scioglimento delle notevoli quantità di neve che possono depositarsi durante l'inverno. Nel caso appunto in cui la risorsa idrica sia esigua (ovvero nella quasi



totalità dei casi) si adottano e si chiede anche agli utenti di attuare accorgimenti per risparmiarne quanta più possibile: le acque grigie vengono raccolte nelle vaschette dei wc, si installano vaschette con doppio pulsante, si chiede collaborazione a chi ne usufruisce invitando a minimizzare i consumi. Infine, nell'eventualità più estrema in cui la disponibilità non sia sufficiente a coprire il fabbisogno degli utenti neppure con l'adozione di queste tecniche, si ricorre al rifornimento per via aerea tramite elicottero. Viene in questo caso predisposto periodicamente il trasporto di piccoli serbatoi in quota che vengono riempiti dalla rete idrica di valle. Soluzione questa, comunque da evitare se possibile perché nel lungo periodo risulta sicuramente la più onerosa dal punto di vista economico oltre che ambientale.

Infine, anche il tema dello scolo delle acque reflue va affrontato indispensabilmente vista la mancanza spesso di un allaccio alla rete fognaria. In questi casi devono essere inseriti a valle dell'edificio, prima della loro dispersione nell'ambiente, degli impianti di depurazione e bonifica delle acque.

- **Riciclo**

Rimanendo ancora in tema di rispetto per l'ambiente, anche l'utilizzo di materiali riciclati viene talvolta, dove possibile, adottato nelle fasi di realizzazione. Si è vista infatti nei casi studio esaminati precedentemente la possibilità di utilizzare fibra di legno riciclata da inserire all'interno dei pannelli di tamponamento. Oltre a questa, altri isolanti termici naturali che si possono ottenere dalla lavorazione di materie di scarto sono quelli costituiti da tessuto riciclato, plastica riciclata e carta riciclata.

Il tema del riciclo però non si limita solo all'utilizzo di materiali di recupero, bensì allo smaltimento dell'intera struttura una volta concluso il suo ciclo di vita. La concezione moderna di qualsiasi tipo di edificio prevede infatti una visione limitata della sua esistenza, al termine della quale esso dovrà essere demolito (o nel migliore dei casi smontato), dovranno essere separati i prodotti di scarto

e riciclati ove possibile. Anche il fatto di non lasciare tracce permanenti dopo la sua rimozione nell'ambiente in cui è stato realizzato è un tema importante da sviluppare in particolar modo in ambienti inviolati come quello dell'alta montagna.

Proprio per i motivi elencati vengono senz'altro privilegiati oggi i sistemi costruttivi modulari a secco. Si riescono così a minimizzare le operazioni da svolgere in quota riducendo sia i tempi di costruzione che sono limitati dalle brevi stagioni estive, sia la difficoltà delle stesse. Anche le operazioni di smontaggio della struttura una volta assolto il suo compito vengono rese possibili adottando questa metodologia. Lo stesso principio vale anche per le fondazioni preferendo soluzioni non troppo invasive come quelle del passato, ma che possano in futuro essere rimosse completamente e facilmente restituendo alla montagna la sua incontaminatezza.

## 4 IL PROGETTO

### 4.1. Obiettivi

In questo elaborato si prevede il progetto di un rifugio alpino ecosostenibile di nuova realizzazione collocato in un contesto montano quale quello dolomitico.

Gli obiettivi della progettazione prevedono l'utilizzo delle più avanzate tecniche costruttive per l'edilizia d'alta quota, oltre che l'installazione di tutti gli impianti necessari ad assicurare il funzionamento della struttura sia il più indipendente ed economico possibile durante tutto il periodo della sua vita utile. In relazione al contesto geografico e climatico in cui sorgerà, si cerca dunque di trarre vantaggio dalle risorse naturali, massimizzare le prestazioni e di minimizzare così i costi sia di realizzazione che di gestione.

Vedendo anche i casi studio riguardanti le strutture moderne riportati nel capitolo precedente, ci si rende facilmente conto che nonostante tutto, le operazioni di realizzazione per edifici di questo genere risultano tutt'altro che economiche. Si cerca pertanto di renderne meno onerosa possibile la gestione una volta che il rifugio sarà funzionante.

Altro aspetto fondamentale su cui porre l'attenzione riguarda il luogo su cui si deciderà di posizionare il fabbricato: ai fini del suo sostentamento economico il rifugio dovrà registrare un adeguato afflusso di utenti e quindi essere situato in una posizione strategica che ne assicuri un certo interesse turistico.

### 4.2. Scelta del sito

Per la scelta del sito su cui si prevede edificare, si sono valutate diverse opzioni valutandone gli aspetti a favore e quelli contrari e decidendo infine la soluzione che si ritiene essere la più strategica e adatta al caso. Per assicurare il funzionamento della struttura ricettiva dal punto di vista economico si deve prevedere che essa sia sufficientemente frequentata, caratteristica che viene facilmente soddisfatta posizionando la stessa in una zona già abbastanza conosciuta e battuta dagli escursionisti.

La scelta più ovvia e sicura in questi casi può essere quella di realizzare il rifugio su una vetta o un paesaggio già molto in voga, sfruttando talvolta anche la spinta dei social media che hanno enormemente pubblicizzato alcune viste divenute iconiche riversandovi un quantitativo enorme di visitatori anche fra i meno esperti. Altri fattori che possono essere sfruttati per incrementare l'attrattiva del pubblico sono l'eventuale presenza nella zona di vie ferrate o altre attività particolari che attirano appassionati anche da lontano. Infine, si considera anche la possibilità di posizionarsi sulla percorrenza di alcuni tra i percorsi più conosciuti e famosi che non fanno certo mancare frequentatori lungo la loro strada: le Alte Vie. Con il termine Alta Via si intende infatti un percorso escursionistico solitamente percorribile in più giorni (in genere da 3/4 a 10) e suddivisibile in tappe che fanno capo a rifugi o bivacchi. Ne fanno parte sentieri o parti di sentiero che nel loro insieme hanno una valenza storica, geografica, o culturale.<sup>87</sup>

Il rifugio, dunque, a seconda di dove viene posizionato in relazione a questi percorsi, può assumere diverse funzioni: può essere il punto di arrivo dell'escursione ma anche quello di partenza o fungere da appoggio se posto lungo la strada ad una consona distanza fra altre due strutture già presenti.

Il problema di questa prima opzione è però quello che solitamente, dove il turismo prolifera, le strutture ricettive risultano già abbondantemente presenti. Si valuta quindi anche l'alternativa di trovare una locazione meno conosciuta e di sfruttare la futura presenza del nuovo rifugio per incoraggiarne l'affluenza e il transito. Ovviamente questa opzione più azzardata deve essere valutata con ulteriore attenzione e perché sia realizzabile si devono soddisfare alcune condizioni. Innanzitutto il sito deve assicurare un certo interesse paesaggistico, si deve poi valutare con attenzione il tracciato che si propone di offrire ai visitatori in modo che questo sia percorribile e adatto per convogliarne una

---

<sup>87</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Alta\\_via](https://it.wikipedia.org/wiki/Alta_via)

quantità consona allo sfruttamento della struttura che si prevede di realizzare. Il fatto di poter giungere sul luogo da più strade diverse è sicuramente una caratteristica positiva, oltre che quello di poter raggiungere altre località conosciute vicine facendovi tappa. Infine, anche la possibilità di poter posizionare in futuro eventuali vie alternative come impianti di risalita o attività sportive legate alla montagna sono elementi che possono influire notevolmente sul successo dell'operazione.

Si prendono dunque in considerazione entrambe le possibilità facendo un sopralluogo in due diverse località che potrebbero prestarsi ai casi sopracitati.

#### 4.2.1 Posizionare il rifugio lungo un'Alta Via

Nel caso specifico si è scelto di prendere un trekking piuttosto conosciuto fra gli appassionati, ovvero una porzione di quella che è l'Alta Via numero 2 delle Dolomiti: percorso lungo 185 km che collega le cittadine di Bressanone e di Feltre, attraversando le province di Bolzano, Trento e Belluno e passando per ben 10 gruppi montuosi (Plose, Sass de Putia, Odle, Puez, Sella, Padon, Marmolada, Bocche, Pala, gruppo Feltre) di cui solo Plose, Padon ed il gruppo Lusia-Bocche non fanno parte delle Dolomiti.<sup>88</sup>

Proprio sul gruppo del Sella ricade la prima scelta, il paesaggio lunare che lo caratterizza lo rende famoso quasi quanto la sua cima più alta: il Piz Boè a 3152 m s.l.m. che offre una splendida vista oltretutto sulla vicina Marmolada, il più grande e importante ghiacciaio delle Dolomiti.



*Figura 44: Paesaggio sul massiccio del Sella- Piz Boè (3152 m.s.l.m.)*

---

<sup>88</sup> <https://www.altabadia.org/it/estate/escursionismo-alpinismo/alta-via-dolomiti-2.html>

Gran parte dei visitatori che frequentano queste montagne non sono comunque alpinisti esperti in quanto gli impianti di risalita situati in corrispondenza del Passo Pordoi permettono una semplice risalita in quota e rendono l'escursione alla portata di molti. Gran parte dell'utenza, infatti, sale con la funivia al Sas Pordoi, segue il percorso che fa tappa al rifugio Capanna Fassa e al Rifugio Boè (ristrutturato e ampliato recentemente) prima di riscendere a valle. La notevole quantità di utenti portati in quota dagli impianti, sommata a quella che giunge sul massiccio dal lato opposto con la famosa "ferrata Brigata Tridentina" o risalendo i ripidi versanti, fornisce un'affluenza particolarmente elevata in tutto il periodo estivo. Situato all'estremità più settentrionale del Sella e posto all'ombra dell'omonima cima, il "rifugio Cavazza al Pisciadù" è invece famoso anche quale punto di arrivo della ferrata Tridentina che è una delle più famose delle dolomiti. Proprio fra il rifugio Boè e il Cavazza, sulla percorrenza dell'Alta Via n.2, si è valutato di creare un ulteriore punto d'appoggio inserendo una struttura di nuova edificazione che consenta di fare tappa ai turisti che devono scavallare due creste per giungere da un rifugio all'altro.

Si riporta di seguito il percorso tra i due rifugi partendo dal Boè e ponendo il Pisciadù come meta di arrivo, il segnaposto azzurro rappresenta la posizione scelta per il nuovo edificio. Sull'andamento altimetrico riportato sotto invece la posizione della nuova struttura sarebbe situata in corrispondenza del punto più alto del percorso, a 2950 m di altitudine.

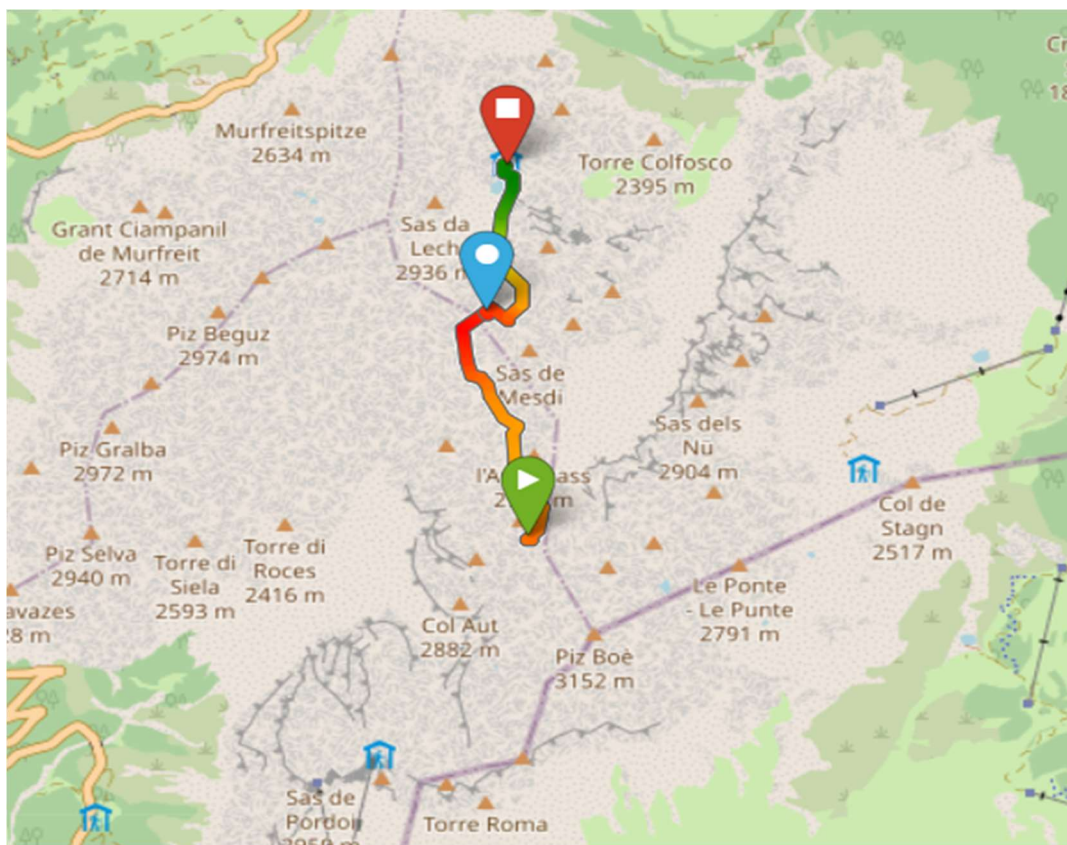


Figura 45: Percorso escursionistico tra il Rifugio Boè e il Rifugio Pisciadù e posizione (azzurra) del nuovo fabbricato

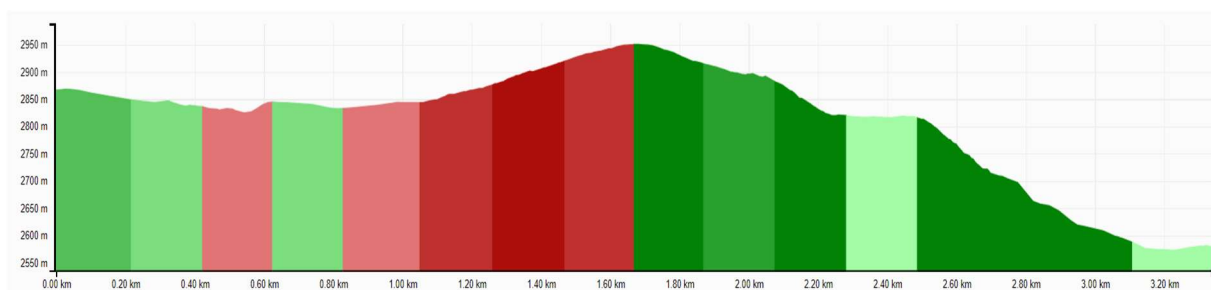


Figura 46: Andamento altimetrico tra Rifugio Boè e Rifugio Pisciadù

Il sito si trova su una sorta di terrazza pianeggiante naturale posta a metà circa del tragitto, cioè a 1,4 km da ognuno, con un tempo di percorrenza di poco più di un'ora da quelli già presenti.



Sul sito è stato fatto un sopralluogo in data 14/08/2023 di cui si riportano di seguito alcune immagini di una documentazione fotografica prodotta proprio in questa occasione e in cui viene riportato in un riquadro rosso una primordiale e ipotetica posizione dell'ingombro in pianta dell'edificio.



*Figura 47: inquadramento ipotetica posizione del nuovo rifugio sul Sella (2950 m.s.l.m.)*



*Figura 48: posizione ipotetica del nuovo rifugio sul Sella*



*Figura 49: Ingombro planimetrico ipotetico del nuovo edificio sul Sella*

Questa scelta presenta comunque alcuni aspetti a favore ma altri a discapito. Dal momento che il tratto di percorso selezionato fa già parte di un'Alta Via, viene assicurata un'affluenza importante alla struttura, il fatto che quelle nelle vicinanze e in particolar modo il Boè che è più attuale, siano molto frequentate e conosciute lo testimonia. Di contro si ha però che la distanza fra le due strutture esistenti non si ritiene sia così elevata da giustificare con certezza la necessità di inserirne una terza in mezzo. Questa, infatti, molto probabilmente andrebbe solamente a spartirsi il lavoro con quelle già presenti ma non offrirebbe una svolta significativa per il turismo di una zona già molto frequentata. In conseguenza a queste valutazioni si è scelto di considerare una seconda opzione alternativa per poi prediligere quella che convincerà maggiormente.



#### 4.2.2 POSIZIONARE IL RIFUGIO IN UNA ZONA POCO FREQUENTATA

Per la seconda opzione, come anticipato, è stata appositamente fatta una scelta alternativa sia dal punto di vista strategico, prendendo una zona meno frequentata che potrebbe potenzialmente essere rilanciata con l'inserimento di una nuova struttura, sia dal punto di vista paesaggistico. Panorama completamente diverso ma altrettanto suggestivo si trova infatti sulle Odle: una catena montuosa situata appena più a nord rispetto al Gruppo del Sella visto in precedenza. Mentre quest'ultimo era caratterizzato da un paesaggio detto "lunare" perché completamente privo di vegetazione, il parco nazionale Puez-Odle conta la presenza di numerosi e vasti prati verdi su cui si ergono le cime frastagliate delle vette più alte.



*Figura 50: Gruppo Montuoso delle Odle*

Istituito nel 1978, il Parco Naturale Puez-Odle Patrimonio UNESCO copre la parte nord-occidentale delle Dolomiti totalizzando una superficie di 10.772

ettari. La zona protetta include il Rasciesa, il Seceda, le Odle, la Vallunga, il Gruppo del Cir e la Val Chedul.<sup>89</sup>

Il patrimonio di flora e fauna del parco, le numerose strutture ricettive presenti, la possibilità di svolgere numerose attività quali trekking, mountain bike, vie ferrate, scalate e ciaspolate, i social media che ne hanno resi famosi alcuni scorci diventati iconici e il passaggio dell'Alta Via numero 2, attirano ogni anno un quantitativo di turisti estremamente elevato. Nonostante tutto però, alcune porzioni sono molto più battute e frequentate di altre sebbene la loro bellezza sia equiparabile. Proprio per rilanciare quelle meno conosciute si considera l'opportunità in questo elaborato di inserire un rifugio in prossimità del lato nord-orientale del parco e di preciso su una cima poco frequentata: la Crëp das Dodesc (Punta delle Dodici) a 2384 m di altitudine. Osservando la mappa dei rifugi presenti in zona si nota che in quella porzione del gruppo montuoso le strutture ricettive sono assenti, motivo al quale si imputa presumibilmente la minore affluenza turistica.

Per raggiungere il sito il percorso più diretto prevede di partire dalla Val Badia e nello specifico dal parcheggio Punt de Rü Fosch a 1.491 m, tra le cittadine montane di Longiarù e Pescol. Da qui si segue la strada carrabile in ghiaia n.6 di moderata pendenza che si dirige verso il rifugio Puez. Dopo una prima parte tra gli alberi ci si addentra nella verde vallata di Antersasc e dopo circa un'ora si giunge, in prossimità dell'omonima malga, ad un bivio: nel caso si proseguisse dritti per la strada principale si raggiungerebbe il rifugio Puez in un'ora e mezza circa; invece, svoltando a destra e seguendo il segnavia n.12 si risalgono dei morbidi pendii erbosi e dopo un'altra ora di camminata si raggiunge Crëp das Dodesc.

---

<sup>89</sup> <https://www.val-gardena.com/it/le-dolomiti/parco-naturale-puez-odle/>



Figura 51: scorcio sul percorso per raggiungere Crëp das Dodesc

Il trekking dal parcheggio alla cima prevede una lunghezza 5,6 km con un dislivello di 800 metri circa, il tempo necessario per percorrere la sola andata, senza contare le soste, è approssimativamente di 2 ore.

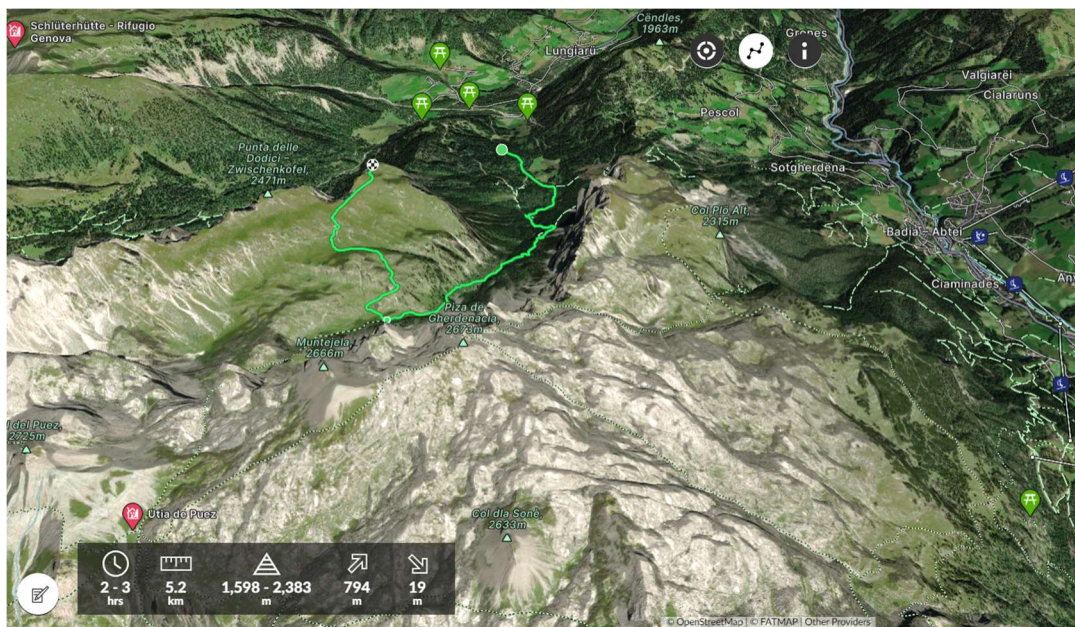
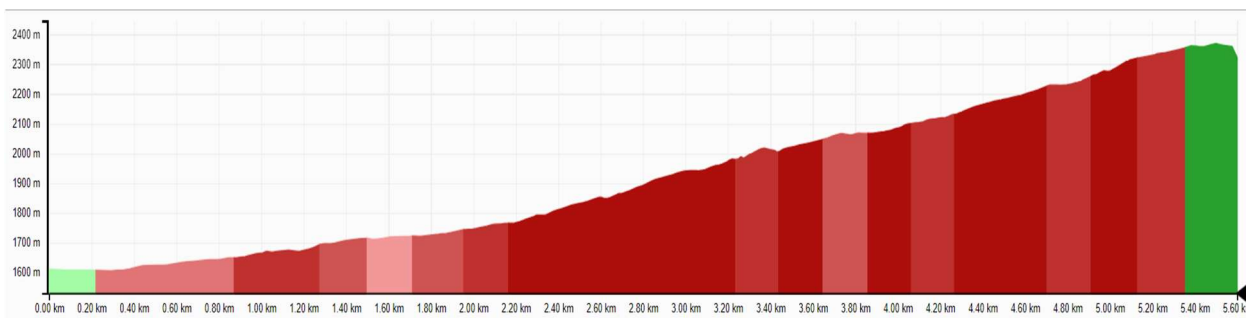


Figura 52: percorso Pescol - Crëp das Dodesc

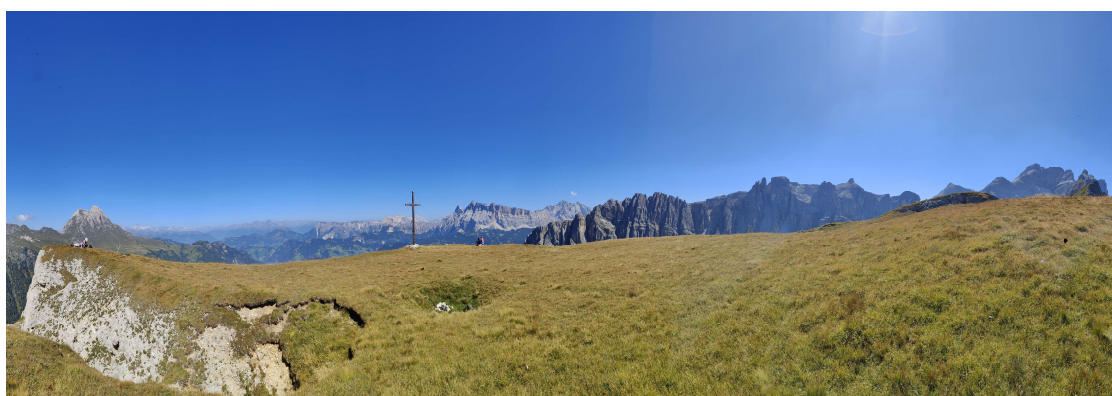




*Figura 53: andamento altimetrico percorso Pescol - Crëp das Dodesc*

All'arrivo la vetta si presenta come un vasto prato quasi pianeggiante all'estremo del quale, un'alta croce di legno si affaccia vertiginosamente sulla valle sottostante. La distesa erbosa termina infatti improvvisamente su una parete di roccia che scende in verticale fino alla quota di partenza del percorso.

Anche in questo caso è stato eseguito un sopralluogo in data 08/09/2023, in occasione del quale è stato fatto un rilievo fotografico della zona, si riportano di seguito alcune delle immagini più esplicative del sito:



*Figura 54: foto panoramica Crëp das Dodesc*



*Figura 55: vista da Cröp das Dodesc sulla Val Badia*

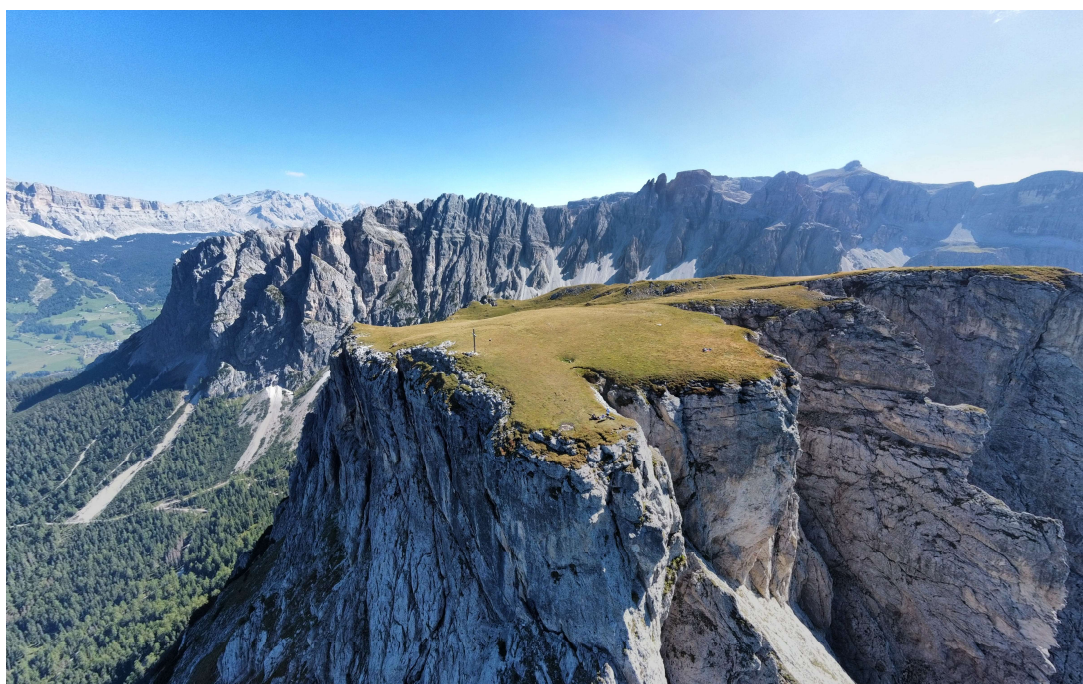


*Figura 56: vista da Cröp das Dodesc (direzione Nord-Est)*





*Figura 57: vista Crëp das Dodesc (direzione Sud-Ovest)*



*Figura 58: vista Crëp das Dodesc (direzione Sud-Est)*



Come si vede dalle immagini, da questa sorta di altopiano che costituisce la cima, si apre una splendida veduta sulla vallata e sulle vette circostanti. Nonostante l'indiscussa bellezza del luogo però, si è constatato anche dal sopralluogo che l'affluenza sia minima se paragonata a quella del vicino rifugio Puez, nel quale i 50 posti letto a disposizione sono spesso insufficienti a soddisfare la domanda degli utenti e diventa necessario prenotare con largo anticipo per pernottare nella struttura. Questi dettagli portano a concludere che l'unico motivo per cui la zona sia poco frequentata possa essere proprio per l'assenza di strutture ricettive. Si valuta che inserirne una potrebbe dare visibilità, promuovere ed incentivare il turismo montano di questa località, oltre che dare supporto alle strutture vicine spesso al completo.

Strategicamente, la disposizione di un rifugio su questo versante delle Odle potrebbe inoltre andare a costituire una tappa e un punto d'appoggio per gli escursionisti che volessero raggiungere il rifugio Puez partendo da una posizione alternativa a quelle più classiche che arrivano dall'Alta Via n. 2.

La conformazione della montagna potrebbe offrirsi oltretutto in futuro ad ospitare attività come il parapendio o per l'inserimento eventualmente di una ferrata che metterebbe a disposizione una via d'accesso alternativa al rifugio collegando direttamente il bosco nel quale si trova il parcheggio con la vetta, risalendo la parete rocciosa.

### 4.3 Caratteristiche del sito

L'edificio di nuova fabbricazione sarà situato sulla catena montuosa delle Odle, in corrispondenza di Crëp das Dodesc (Cima Dodici) che misura sul livello del mare un'altitudine di 2384 m.

Per raggiungere il sito è disponibili una strada in ghiaia carrabile (percorso CAI n. 6) che però conduce a Malga Antersasc, la quale dista un'ora a piedi dalla destinazione. La conformazione del terreno sale attraverso un morbido pendio erboso dal lato sud fino ad assumere un andamento quasi completamente pianeggiante sulla cima in cui si apre un ampio prato. Il lato nord della montagna scende invece a picco sulla vallata sottostante con una parete rocciosa quasi che sovrasta una zona boschiva.

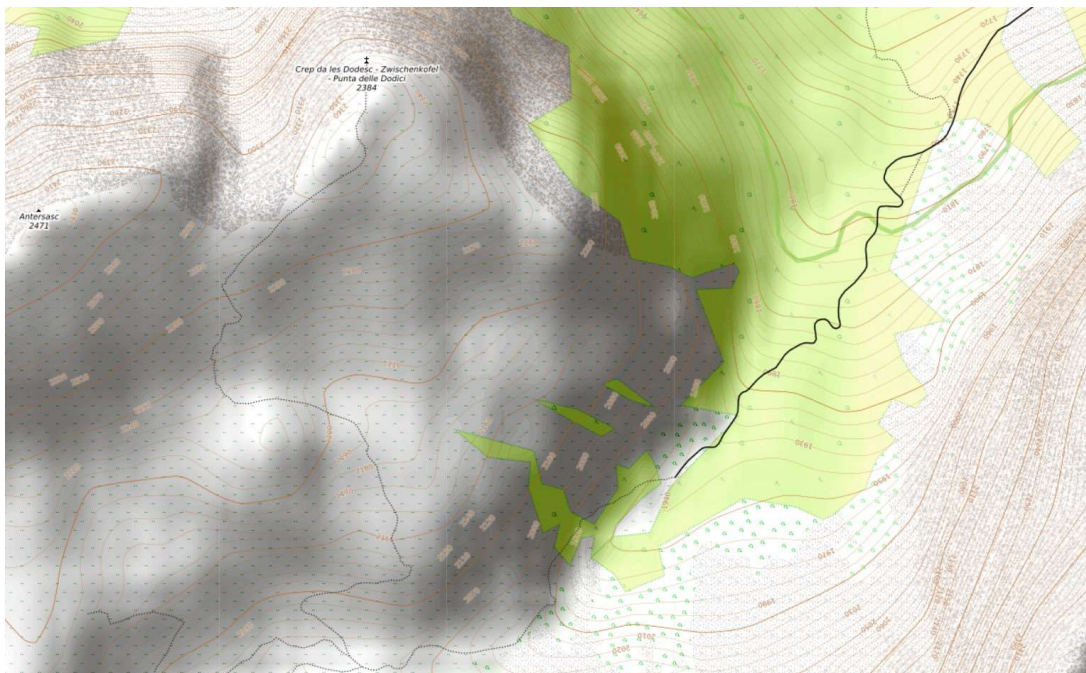


Figura 59: Mappa altimetrica del sito

La composizione del sottosuolo si presenta formata da uno strato di terreno relativamente sottile (poche decine di centimetri al massimo) su cui si adagia la

vegetazione e che ricopre il massiccio substrato roccioso che costituisce il corpo della montagna. Si ha la percezione della stratigrafia osservando la vetta dal lato nord o notando come di tanto in tanto la roccia madre riaffiori dalla superficie erbosa.

Ai fini pratici dello sviluppo del progetto, l'interesse nei confronti del terreno riguarda principalmente la sua capacità portante e la sua composizione, utile alla determinazione dell'azione sismica di progetto con cui dimensionare l'edificio per le forze orizzontali.

Il sottosuolo, alla luce di quanto detto in precedenza, ricade in Categoria A: ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

La categoria topografica invece, considerando la posizione su cui verrà posizionato il fabbricato che si trova sulla cresta di un rilievo e più precisamente nelle vicinanze di una scarpata, può essere assegnata alla Categoria T4: rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $i > 30^\circ$ . A questa categoria corrisponde comunque il fattore di amplificazione topografica più alto, che assicura in ogni caso che la scelta sia a favore di sicurezza.



*Figura 60: Conformazione terreno-rocciosa Crëp das Dodesc*

Dal punto di vista dell'irraggiamento la posizione è ideale perché non vi è alcun ostacolo più alto nelle vicinanze che possa creare ombre indesiderate sull'edificio o sugli impianti atti a sfruttare la risorsa solare.

L'assenza di ostacoli e la posizione in vetta porteranno comunque a considerare una forte componente del vento che agirà sull'edificio, si terrà conto di queste sollecitazioni nel dimensionare sistemi di controvento sufficienti a contrastarne le forze orizzontali.

Nonostante la posizione in sommità di un rilievo montuoso, comunque, il pianoro su cui si costruirà il rifugio presenta una superficie molto estesa che si presta ampiamente ad ospitare un fabbricato. L'andamento del terreno piuttosto regolare e pianeggiante non limita gli spazi di manovra attorno all'area del cantiere consentendo tranquillamente le lavorazioni con qualsiasi mezzo oltre che di creare un punto di atterraggio per l'elicottero. Per quanto riguarda la cantierizzazione, dunque, vi è la possibilità di trasportare in volo tutto il necessario: materiali, mezzi e manodopera.

La movimentazione poi del materiale una volta giunto in quota, vista la disponibilità di larghi spazi, può essere eseguita per mezzo di una gru che verrà posizionata sempre per via aerea. Visto che la struttura che si intende utilizzare non sarà composta da elementi eccessivamente pesanti si potrà optare anche per l'utilizzo di una gru-ragno, la quale consentirà un notevole risparmio sui costi in quanto renderà non necessaria la presenza costante dell'elicottero durante le lavorazioni, se non per quanto riguarda alcuni elementi più pesanti.

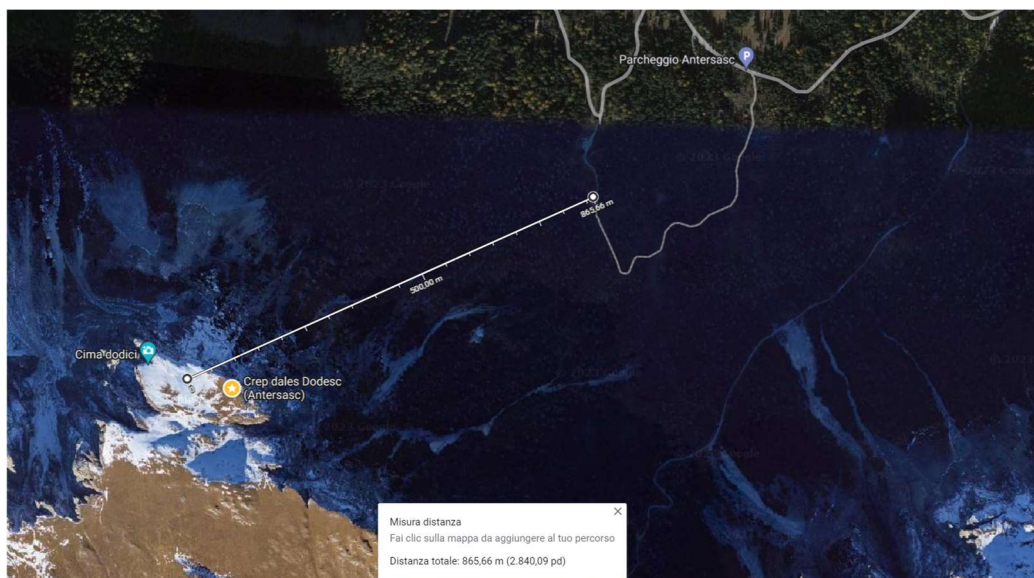


*Figura 61: macchinari per la movimentazione dei carichi in cantiere: gru-ragno*

Si può valutare anche la possibilità di abbattere ulteriormente i costi di trasferimento in sito del materiale e di utilizzo dell'aeromobile installando una teleferica che colleghi il pianoro con la strada non asfaltata situata a valle. Il trasporto tramite fune sarebbe infatti più economico e realizzabile in luce del fatto che la distanza diretta tra i due punti risulterebbe inferiore ai 900 metri con una differenza di quota di circa 800 metri. Come indicato nell'immagine



sottostante, infatti, la percorrenza assegnata alla teleferica sarebbe tutt'altro che eccessiva e si può concretamente pensare di usufruirne sia per le fasi di cantierizzazione che, una volta terminati i lavori, per rifornire il rifugio da valle senza la necessità dell'elicottero.



*Figura 62: distanza aerea percorsa dalla nuova teleferica*

#### 4.4 Determinazione dei carichi accidentali

La copertura è accessibile esclusivamente per lo svolgimento della manutenzione ordinaria e/o straordinaria. Pertanto, in accordo con il par. 3.1.4 delle NTC2018:

<i>Categoria H</i>	<i>q</i>	0,5	<i>kN/m<sup>2</sup></i>	<i>Accessibile per sola manutenzione</i>
<i>Azione della neve</i>	<i>q<sub>s</sub></i>	9,78	<i>kN/m<sup>2</sup></i>	
<i>Azione del vento (c<sub>p</sub> = 0,8)</i>	<i>q</i>	2,04	<i>kN/m<sup>2</sup></i>	
<i>Azione del vento (c<sub>p</sub> = 0,4)</i>	<i>q</i>	1,02	<i>kN/m<sup>2</sup></i>	

##### 4.4.1 Azione della neve (q<sub>s</sub>)

In accordo con il par. 3.4.1 delle NTC2018 e compatibilmente con l'ubicazione dell'opera (altitudine 262 m s.l.m.), si calcola il carico provocato dalla neve sulla copertura come combinazione dei contributi:

<i>Valore di riferimento del carico neve al suolo</i>	<i>q<sub>sk</sub></i>	16,30	<i>kN/m<sup>2</sup></i>	<i>Zona I Alpina – as &gt; 200 m</i>
<i>Coefficiente di forma della copertura</i>	<i>μ<sub>i</sub></i>	0,67		<i>Copertura piana – α = 0°</i>
<i>Coefficiente di esposizione</i>	<i>c<sub>E</sub></i>	0,90		<i>Topografia normale</i>
<i>Coefficiente termico</i>	<i>c<sub>T</sub></i>	1,00		
<i>Carico neve di progetto</i>	<i>q<sub>s</sub></i>	9,78	<i>kN/m<sup>2</sup></i>	<i>q<sub>s</sub> = q<sub>sk</sub> · μ<sub>i</sub> · c<sub>E</sub> · c<sub>T</sub></i>

##### 4.4.2 Azione del vento (q<sub>p</sub>)

In accordo con i par. 3.3.1 e 3.3.2 delle NTC2018 e compatibilmente con la posizione della struttura, si calcola il carico provocato del vento come dipendente da differenti contributi e parametri caratteristici della zona.

<i>Velocità base di riferimento al livello del mare</i>	<i>V<sub>b,0</sub></i>	25	<i>m/s</i>	<i>Zona 1 – Trentino Alto Adige</i>
<i>Classe di rugosità</i>		<i>D</i>		<i>Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati</i>
<i>Altitudine dal libello del mare</i>	<i>a<sub>s</sub></i>	2384	<i>m</i>	

Distanza dalla costa	$d$	135	km
Tempo di ritorno	$T_R$	50	anni
Categoria di esposizione		III	
Coefficiente di altitudine	$c_\alpha$	1,55	$a_s \leq a_0$
Pressione cinetica di riferimento	$q_r$	944	$N/m^2$ $q_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2$

Passando poi per il calcolo dei coefficienti si ottengono i valori di pressione del vento nella combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

### PRESSIONI DEL VENTO

#### Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

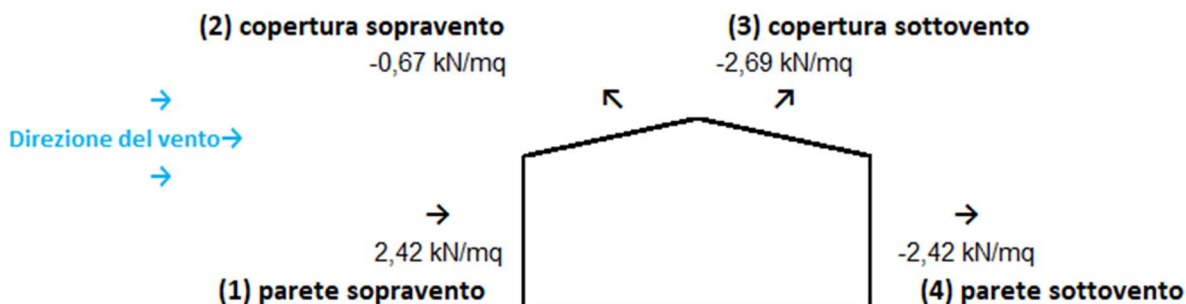
Valori massimi della pressione per ogni elemento

$$p \text{ (pressione del vento)} = q_r \cdot c_d \cdot c_t \cdot c_e \cdot c_p$$

$c_d$  (coefficiente dinamico)     $c_t$  (coefficiente topografico)     $c_e$  (coefficiente di esposizione)

$c_p$  (coefficiente di forma)

	$p$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$c_d$	$c_t$	$c_e$	$c_p$	$P$ [kN/m <sup>2</sup> ]
(1) par. sopravent.	0,944	1,00	1,50	2,843	0,60	2,42
(2) cop. sopravent.	0,944	1,00	1,50	3,167	-0,15	-0,67
(3) cop. Sottovent.	0,944	1,00	1,50	3,167	-0,60	-2,69
(4) par. sottovent.	0,944	1,00	1,50	2,843	-0,60	-2,42





#### 4.4.3 Carichi variabili (q)

Dal capitolo 3.1.4 delle NTC18 si ricavano i carichi variabili in funzione alla destinazione d'uso dell'opera considerata. In questo caso il solaio intermedio su cui si svilupperà il reparto notte ricade da normativa in categoria A: aree per attività domestiche e residenziali, sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi e le camere di degenza degli ospedali.

---

*Carico variabile*  $q$  2,00 kN/m<sup>2</sup> *Categoria A: Alberghi*

---

#### 4.4.4 Azione sismica (E)

La struttura sarà ubicata nel comune di Bolzano (BZ) e presenta le seguenti caratteristiche sismiche locali: Per la struttura è richiesto un livello di prestazione ordinaria (opera ordinaria) e pertanto si assume una vita nominale  $V_N = 50$  anni. L'uso della costruzione prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali strategiche. Per questo motivo, in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, la struttura rientra nella "Classe d'uso II". Ne consegue, in accordo con il par. 2.4.3 delle NTC2018 (Tab. 2.4.II), un Coefficiente d'uso  $C_U = 1,0$ , per cui l'azione sismica viene valutata in relazione al periodo di riferimento  $V_R$  pari a:

$$V_R = C_U \cdot V_N = 50 \text{ anni} \quad (1.26)$$

#### **Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,019	2,555	0,156
SLD	50	0,024	2,524	0,187
SLV	475	0,052	2,598	0,346
SLC	975	0,062	2,703	0,382

Figura 63: parametri sismici associati a ciascuno stato limite

Per quanto concerne i parametri di risposta sismica locale, osserviamo che in base alla tipologia riscontrata, possiamo adottare un approccio semplificato cap. 3.2.2. per la determinazione dei parametri di amplificazione locale, avendo come:

- dalle osservazioni fatte in sito si assegna una categoria di sottosuolo A: ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- *condizioni topografiche T4*: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $i > 30^\circ$ .

di seguito si riportano le caratteristiche principali:

<i>Classe d'uso</i>	<i>CU</i>	<i>II</i>	<i>Edificio con funzioni pubbliche</i>
<i>Coefficiente d'uso</i>	<i>C<sub>u</sub></i>	<i>1,0</i>	
<i>Periodo di riferimento della struttura</i>	<i>V<sub>R</sub></i>	<i>50</i>	<i>anni</i>
<i>Categoria di sottosuolo</i>	<i>cat.</i>	<i>A</i>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i>
<i>Categoria topografica</i>	<i>cat.</i>	<i>T4</i>	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media <math>i &gt; 30^\circ</math></i>
<i>Fattore di struttura</i>	<i>q<sub>0</sub></i>	<i>1,5</i>	
<i>Classe di duttilità</i>		<i>CD" B "</i>	<i>Secondo NTC 2018</i>
<i>Regolarità in pianta</i>		<i>NO</i>	<i>La struttura non viene considerata regolare in pianta</i>

<i>Regolarità in altezza</i>	<i>SI</i>	<i>La struttura viene considerata regolare in altezza</i>
<i>Sisma verticale</i>	<i>NO</i>	<i>Secondo cap. 7.2.2 delle NTC 2018</i>

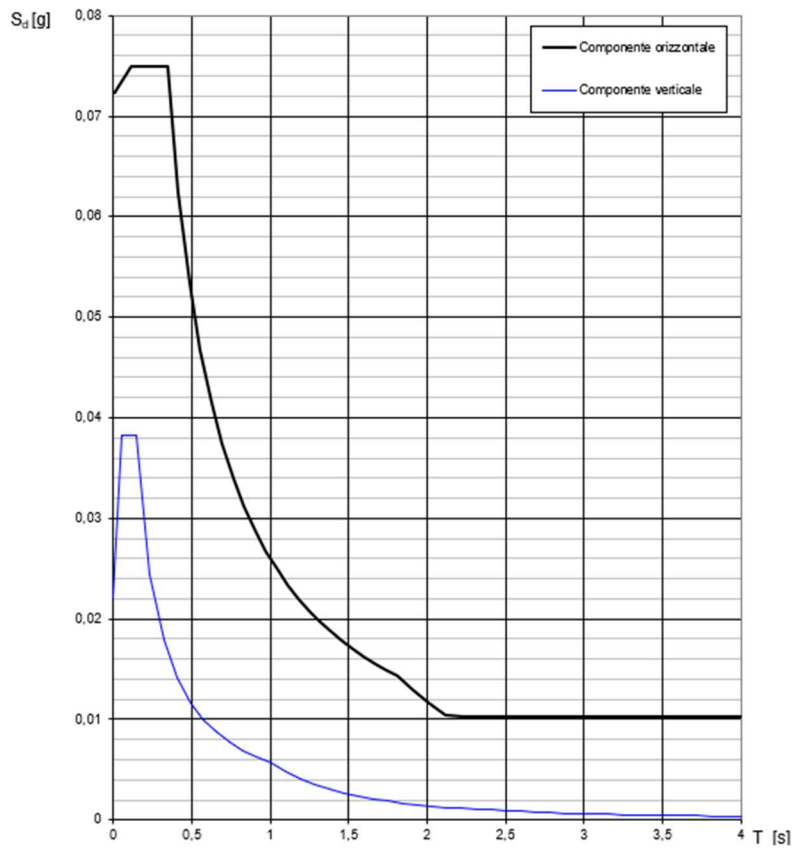
Per quanto riguarda la regolarità, sono soddisfatti i requisiti di regolarità in elevazione ma non in pianta, la quale, stando alle prescrizioni fornite dal cap 7.2.1 delle NTC18, non può essere considerata compatta.

Per quanto riguarda la classificazione strutturale essa può considerarsi una struttura con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti. Per questa tipologia, la normativa impone una classe di duttilità bassa (CDB) con un fattore di comportamento da utilizzare pari a  $q_0 = 2.5$ .

Secondo quanto riportato al cap 7.2.2 non è necessario considerare l'azione verticale da sisma, in quanto la struttura non ricade nelle tipologie di cui è fatto obbligo.

Gli spettri elastici e di progetto sono ricavati attraverso il foglio Excel fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, in accordo con il par. 3.2.3.2 delle NTC2018.

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limiti SLV**



*Figura 64: Spettro di risposta azione sismica allo SLV*

## 5 Descrizione generale dell'edificio

Per la progettazione degli spazi e la determinazione delle dimensioni che saranno attribuite al rifugio si è innanzitutto stimata la capienza che questo dovrà avere. Per fare ciò si sono visionate le caratteristiche di altre strutture situate nella medesima zona oltre che di quelle che presentano caratteristiche simili. Si è dunque scelto di predisporre una cinquantina di posti letto da assegnare agli ospiti, a questi si sommano quelli per il personale. 6 posti letto, oltre a quelli precedentemente stimati, verranno messi anche nel locale invernale e se ne potrà usufruire soltanto nei mesi in cui la struttura non sarà in funzione.

Al piano terra, la zona per la ristorazione prevede di accogliere per colazione e cena gli ospiti che pernoveranno nella struttura. A pranzo invece, la quantità di persone che si potranno fermare sarà più elevata e si stimano 50 coperti all'interno, oltre ai quali se ne aggiungono altrettanti sul plateatico esterno.

Alla luce di tutto questo, le scelte architettoniche fatte hanno portato a prevedere la realizzazione di una struttura che si svilupperà su due piani fuori terra con una superficie lorda totale di circa 518 m<sup>2</sup> e un'altezza massima di colmo pari a 10,59 m.

Al piano terra saranno disposte la sala ristorante (su cui si affaccia un'ampia vetrata panoramica), la cucina con dispensa annessa, i servizi igienici, il locale per il deposito degli scarponi e dell'attrezzatura, la zona addeita al personale con le camere da letto e il locale tecnico.

Al piano superiore si trovano invece tutte le camere per gli ospiti (doppie o quaduple), ognuna dotata di uno o due letti a castello, i servizi igienici per i visitatori che pernoveranno in struttura e la lavanderia. Sempre allo stesso piano, ma accessibile tramite una scala in acciaio esterna, si trova il locale invernale dotato di tre letti a castello, un tavolo e un bagno. Vista la difficoltà di raggiungere il rifugio nei mesi in cui le nevicate saranno più abbondanti, infatti, si dispone che l'apertura della struttura vada da maggio fino a fine settembre.

Nel restante periodo, eventuali escursionisti che si troveranno nei pressi del rifugio potranno accedere e riposarsi all'interno di questa apposita zona, nella quale si prevede l'installazione di una stufa da poter utilizzare per riscaldarne l'ambiente. Anche la scelta di posizionare questo locale al piano superiore è stata presa in modo tale da consentirne il raggiungimento e l'accesso anche in caso di abbondanti nevicate che ne ostacolerebbero l'ingresso altrimenti.

Per la predisposizione degli ambienti interni, la determinazione degli spazi e delle altezze è stato fatto riferimento al "Regolamento per le strutture ricettive del Club Alpino Italiano" elencate al capitolo 1.

## 5.1 Tipologia costruttiva e struttura portante

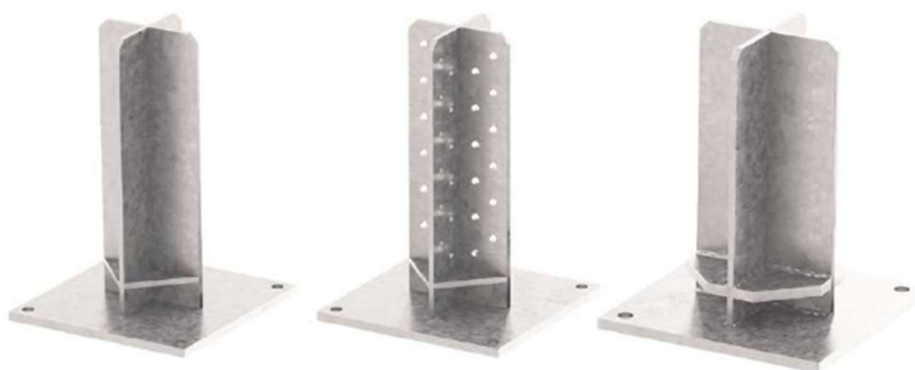
Vista la necessità di realizzare una costruzione leggera, con un'adeguata percentuale di prefabbricazione, buone prestazioni energetiche e materiali naturali, in accordo con quanto osservato anche tra gli altri rifugi moderni realizzati sulle Alpi, si sceglie di utilizzare una struttura a telaio con travi e pilastri in legno lamellare.

Il legno lamellare è prodotto mediante l'incollaggio di più tavole di legno che sono state a loro volta già classificate ad uso strutturale. Si tratta quindi di un materiale composito, costituito essenzialmente da legno naturale di cui mantiene tutti i pregi, si ricorda in particolar modo l'elevato rapporto tra resistenza meccanica e peso, oltre che un buon comportamento in caso d'incendio. Questo lo rende un materiale solido e resistente che oltretutto, mediante i procedimenti industriali di incollaggio a pressione, riduce i difetti che solitamente si presentano nel legno massiccio. Le fasi di lavorazione consistono nel taglio dei tronchi in legno massiccio a generare delle tavole (lamelle) di larghezza non inferiore ai 20 mm che vengono poi incollate l'una sull'altra posizionandole con venatura tra loro contrapposta in modo da garantire una maggiore uniformità nella resistenza dell'elemento ligneo. Altro aspetto fondamentale è la possibilità di realizzare elementi con forme e dimensioni anche piuttosto importanti senza incorrere nei limiti rappresentati dalle dimensioni dell'albero da cui viene ricavato il legname. Grazie all'utilizzo di questa tecnica è possibile realizzare travi con rapporti tra altezza e base sbilanciati in favore della prima e il vantaggio derivante da questa caratteristica è esplicitato nel calcolo del momento d'inerzia della sezione ( $J = b \cdot h^3 / 12$ ) in cui l'altezza essendo elevata al cubo influisce maggiormente sui valori di

resistenza. I limiti dimensionali degli elementi in legno lamellare si riducono perciò a quelli della possibilità di trasporto e messa in opera degli stessi.<sup>90</sup>

Anche per quanto riguarda la resistenza al fuoco il legno lamellare possiede caratteristiche pari o superiori a quelle di strutture in acciaio o in calcestruzzo armato. La combustione, infatti, grazie ad un buon isolamento termico dato dallo strato esterno carbonizzato, avviene più lentamente.<sup>91</sup>

Tornando alle caratteristiche proprie della struttura in esame, i pilastri si prevedono essere di forma quadrata da 24x24 cm o rettangolari da 24x48 cm dove si presenterà la necessità di sostenere anche delle capriate. Alla base dei pilastri vengono posti dei porta-pilastri a scomparsa che grazie alle lame incrociate inserite all'interno dei pilastri, generano dei vincoli alla base assimilabili a degli incastri che contribuiscono quindi a contrastare le azioni orizzontali di sisma e vento.<sup>92</sup>



*Figura 65: Portapilastri a croce per collegamento pilastro-fondazione*

---

<sup>90</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Legno\\_lamellare](https://it.wikipedia.org/wiki/Legno_lamellare)

<sup>91</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Legno\\_lamellare](https://it.wikipedia.org/wiki/Legno_lamellare)

<sup>92</sup> <https://www.rothoblaas.it/prodotti/fissaggio/piastre-e-connettori/portapilastri/x10>



Il solaio interpiano verrà realizzato in modo tradizionale con travi in legno lamellare poste ad un interasse di 50 cm l'una dall'altra e collegate a delle travi di bordo principali con sezione maggiore mediante appositi connettori a scomparsa per connessioni legno-legno i quali possiedono la caratteristica essere rapidi da installare e assicurare il fissaggio anche in presenza di forze laterali, assiali e di sollevamento come quelle di vento e sisma.<sup>93</sup>



*Figura 66: Elemento a scomparsa di connessione legno-legno utilizzato nelle connessioni trave-trave o trave-pilastro*

Anche la connessione delle travi principali ai pilastri lignei viene effettuata mediante staffe e giunti collegati agli elementi verticali tramite bullonature o vitoni da legno.

Per il pacchetto del solaio si prevede di realizzarne uno con posa a secco che oltre alle caratteristiche di semplicità e velocità di realizzazione garantisca anche la creazione di un diaframma rigido di piano, comfort acustico e utilizzo di

---

<sup>93</sup> <https://www.rothoblaas.it/prodotti/fissaggio/piastre-e-connettori/giunzioni-a-scomparsa/uv-t#documents>

materiali idonei alla bioedilizia. Una soluzione che si è ritenuta idonea al caso è quella di utilizzare il sistema "SolaioAttivo®" proposto da un'azienda presente proprio nel territorio di Bolzano. Stratigrafia e dettagli tecnici del pacchetto verranno visti più nel dettaglio in seguito.

La copertura viene sostenuta da una trave di colmo che a sua volta poggia su 3 pilastri e 3 capriate lignee aventi una luce di circa 10 metri. Alle travi di colmo si ancorano delle travi di sezione più contenuta che sviluppandosi parallelamente alla pendenza delle falde sostengono il pacchetto del tetto.

L'assorbimento delle azioni orizzontali, infine, oltre che agli incastri alla base dei pilastri, viene assegnato alle pareti di tamponamento perimetrali che offrono rigidità alla struttura lavorando come dei controventi. Per centrare la posizione del centro di rigidità (CR) in pianta ed evitare così il generarsi di indesiderate componenti torsionali da parte di vento e sisma, si deciderà di irrigidire anche il lato dell'edificio su cui insistono le pareti vetrate. Questa operazione verrà eseguita mediante l'installazione di controventi metallici posti all'interno della struttura e lasciati a vista. Si è scelta questa opzione proprio in virtù del fatto che si è ricercata la soluzione più contenuta e meno ingombrante possibile, per evitare di compromettere la vista sul panorama circostante che si ottiene dalla sala ristorante.

Si riportano di seguito le piante raffigurative degli impalcati in cui sono riportate le orditure dei solai e la disposizione degli elementi lignei che si procederà in seguito a dimensionare più nel dettaglio.

## PRIMO IMPALCATO

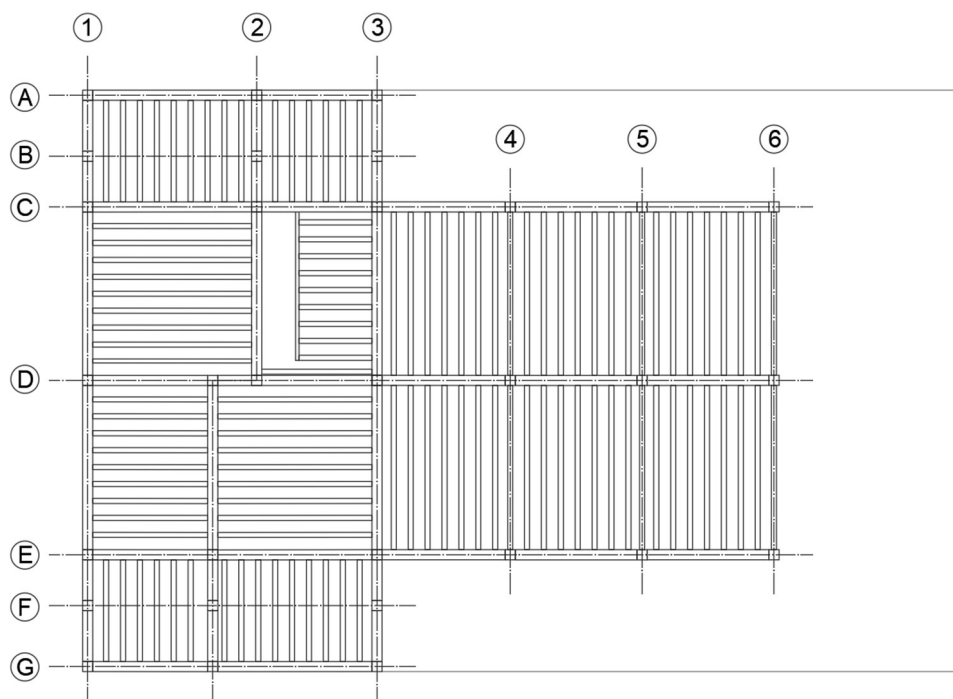


Figura 67: Schema elementi strutturali del primo solaio

## COPERTURA

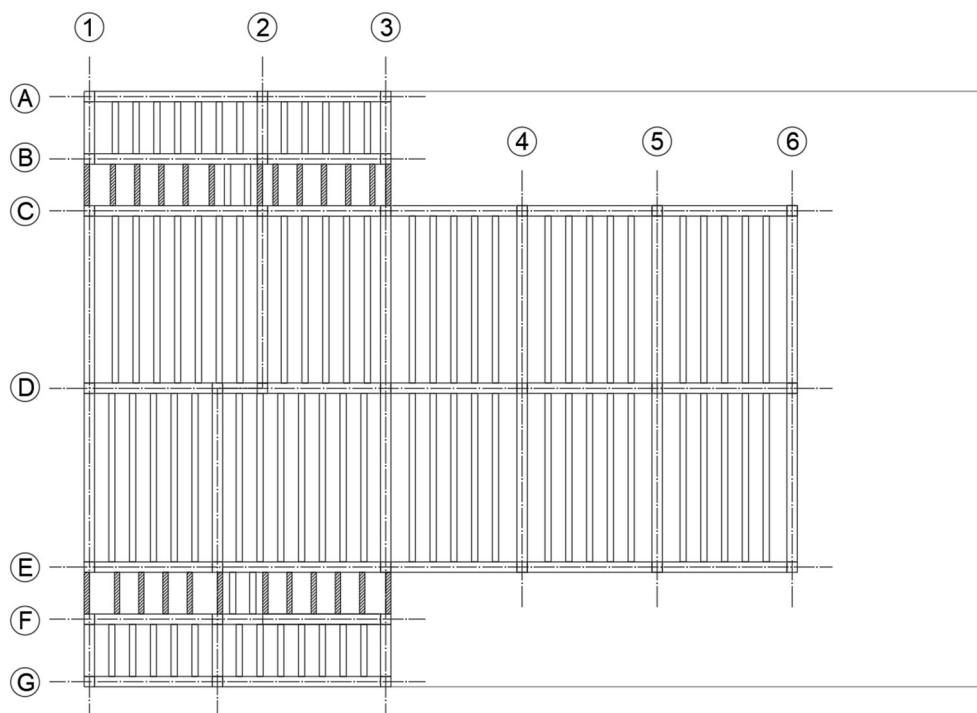


Figura 68: Schema elementi strutturali di copertura

## 5.2 Analisi dei carichi

### 5.2.1 Primo solaio

Come anticipato in precedenza il solaio interpiano che si sceglie di utilizzare risponde alle caratteristiche fornite nella scheda tecnica del sistema “SolaioAttivo” proposto da Ton Gruppe, un’azienda dell’Alto Adige con sede in provincia di Bolzano.

Viene di seguito riportata la stratigrafia del pacchetto previsto, la quale sarà utile per la determinazione del peso proprio del solaio.

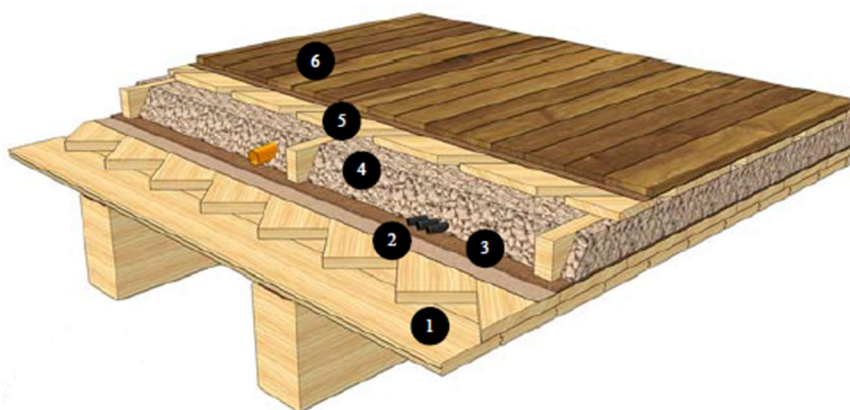


Figura 69: Stratigrafia solaio primo impalcato

1. Solaio in legno con doppio tavolato incrociato
2. TYTON® KRISTAL 140 – Membrana antipolvere freno a vapore
3. Feltro anticalpestio in fibre naturali sp. 5 mm
4. GEOSANA® SOTTOFONDO A SECCO D750 – Riempimento granulare in argilla con listelli di contenimento in legno
5. Tavolato in legno di abete grezzo spessore 20 mm
6. Pavimentazione in legno

Caratteristiche che giocano a favore della scelta fatta sono:

- Elevato comfort acustico
- Regolazione naturale dell'umidità e della temperatura
- Evita la formazione di muffa e di condensa
- Sottofondo in materiale incombustibile che comporta maggior sicurezza in caso di incendio
- Utilizzo di materiali naturali e riciclati
- Posa a secco semplice e veloce
- Mantenimento delle proprie caratteristiche nel tempo
- Ideale per la bioedilizia

Alla luce della stratigrafia descritta sopra si esplicitano i carichi propri dell'impalcato e degli elementi da esso sorretti:

**SOLAIO IN LEGNO CON DOPPIO ASSITO INCROCIATO (SOLAIOATTIVO)**

**Peso proprio solaio**

Solaio legno con doppio assito i = 50 cm h = 29 cm **G1= 54 daN/m<sup>2</sup>**

**Permanenti portati**

GEOSANA® SOTTOFONDO A SECCO D750 sp = 10 cm 75 daN/m<sup>2</sup>

Tavolato superiore + pavimento in legno 30 daN/m<sup>2</sup>

Tramezzatura 50 daN/ml

**G2= 205 daN/m<sup>2</sup>**

**Sovraccarico accidentale**

Categoria A Ambienti ad uso residenziale (compresi gli alberghi)

<b>q = 200 daN/m<sup>2</sup></b>
<b>G1= 27 daN/m</b>
<b>G2= 103 daN/m</b>
<b>q = 100 daN/m</b>

Si precisa che nel tener conto dell'incidenza di carico data dalla tramezzatura si è considerato di realizzarla con dei pannelli simili a quelli con cui si realizzeranno le pareti perimetrali, con una struttura intelaiata formata da due pannelli lignei in multistrato e tra questi uno strato di lana di roccia atta ad isolare acusticamente gli ambienti interni. Il peso di questi elementi non è stato

assegnato con un'incidenza arbitraria a metro quadrato come è usuale fare, vista infatti l'assenza di una cappa in calcestruzzo si è ipotizzato che il carico non si ripartisca allo stesso modo su tutto il solaio. Per gli elementi disposti parallelamente alle travi, ovvero nella condizione più gravosa, si è supposto ripartito su solamente tre di esse. Ipotesi queste fatte per rimanere a favore di sicurezza nel dimensionamento della struttura portante del solaio.

## 5.2.2 Copertura

Anche la copertura viene realizzata con un sistema tradizionale costituito da travi disposte longitudinalmente alla pendenza, con uno strato coibentante di 20 cm di fibra di legno e coperto da un pannello OSB, guaina e un rivestimento in rame volto a proteggere la struttura dalle intemperie.

### SOLAIO COPERTURA - S2

#### Peso proprio travetti

Incidenza travetti secondari:

b [cm]	h [cm]	i [cm]	$\gamma$
18	28	70	500

$$G1 = 36 \text{ daN/m}^2$$

#### Permanenti portati

Tavolato in perline di abete (2 cm)

$$10 \text{ daN/m}^2$$

Isolante in fibra di legno ad alta densità (20 cm)

$$28 \text{ daN/m}^2$$

Pannello osb

$$10 \text{ daN/m}^2$$

Guaina bituminosa

$$4 \text{ daN/m}^2$$

Lamiera di rame

$$9 \text{ daN/m}^2$$

Pannello fotovoltaico

$$11 \text{ daN/m}^2$$

$$\text{Angolo falda } (\alpha) = 35,00^\circ \quad p = 55 \%$$

In proiezione orizz.:

$$G2 = 72 \text{ daN/m}^2$$

$$(g_{\text{port.}} \cdot \cos \alpha) = 59,0 \text{ daN/m}^2$$

$$G1+G2 = 108 \text{ daN/m}^2$$

$$(g_{\text{port.}} \cdot \sin \alpha) = 41,3 \text{ daN/m}^2$$

#### Sovraccarico accidentale

$$as = 1384 \text{ m slm}$$

$$q_{sk} = 16,296118 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_1 = 0,6666667$$

$$g^{\text{perp}} = 59 \text{ daN/m}^2$$

$$g^{\text{par}} = 42 \text{ daN/m}^2$$

$$q_s = 978 \text{ daN/m}^2 \quad \psi_{2j} = 0,2$$

### 5.3 Dimensionamento elementi principali

Una volta stabilite le entità dei carichi e delle sollecitazioni che agiranno sulla struttura, si procede ora a dimensionare e verificare la sezioni degli elementi di principale importanza.

Per il calcolo e la verifica delle travi lamellari ci si è avvalsi del programma “All Wood Tools” oltre che di fogli di calcolo compilati su Excel per provare l’idoneità delle sezioni previste. Sono state eseguite le verifiche con entrambi i metodi per controllare la correttezza della progettazione e sono stati inseriti di seguito degli estratti che riassumono la verifica sia con un metodo che con l’altro.

#### 5.3.1 Primo solaio

Per il dimensionamento degli elementi strutturali che costituiscono il primo impalcato si distinguono 3 tipologie di trave. Per semplicità, infatti, si classificano le sezioni di tutti gli elementi da inserire in questo modo.

##### 5.3.1.1 Trave di solaio T1

Tutti i solai vengono realizzati con travi lignee dalla medesima sezione. Si assume infatti che sia sufficiente dimensionare l’elemento soggetto alla condizione più gravosa per considerarne la sezione idonea anche negli altri casi.

Nell’analisi dei carichi si è già considerato il peso che può gravare sul solaio nella sua condizione peggiore, si procede dunque alla progettazione della trave con luce massima ( $L=4,85$  m).

Per le caratteristiche del materiale si sceglie di utilizzare legno lamellare di classe GL32h. Le sezioni di questi elementi avranno l’altezza vincolata dal fatto che solitamente ci si serve di lamelle con uno spessore 4 cm, di conseguenza si usano misure multiple di 4.

Si opta per sezioni da 12x24 cm poste ad un interasse di 50 cm l'una dall'altra.

Nel calcolo della freccia ci si è appositamente tenuti abbondantemente sopra ai limiti imposti dalla normativa per limitare le vibrazioni del solaio che possono ridurre il comfort al calpestio per gli utilizzatori. Con specifico riferimento ai solai in legno, infatti, è importante considerare questo tipo di necessità in quanto essendo dotati di maggior leggerezza e flessibilità rispetto a quelli in latero-cemento o calcestruzzo armato ne risentono maggiormente. Nonostante in questa trattazione non si entri nel merito delle verifiche alle vibrazioni, infatti, si usa comunque questo accorgimento per limitare il problema e garantire un miglior comfort agli utenti.

Di seguito viene riportata la verifica svolta su foglio Excel che dimostra l'idoneità delle travi previste.



VERIFICA Trave di Solaio							
Caratteristiche di resistenza del materiale				Lamellare GL32h			
$f_{m,g,k} =$	32,0	MPa	$f_{v,g,k} =$	3,8	MPa	$E_{90,g,mean} =$	0,46 GPa
$f_{t,0,g,k} =$	22,5	MPa	$E_{0,g,mean} =$	13,7	GPa	$E_{90,g,05} =$	- GPa
$f_{t,90,g,k} =$	0,5	MPa	$E_{0,g,05} =$	11,1	GPa	$G_{g,mean} =$	0,85 GPa
$f_{c,0,g,k} =$	29,0	MPa				$G_{g,05} =$	- GPa
$f_{c,90,g,k} =$	3,3	MPa				$\gamma_{legno} =$	430 kg/m <sup>3</sup>
Classi di servizio:				Classe 1			
Classe di durata del carico per carichi permanenti:				permanente			
Classe di durata del carico per carichi di esercizio in generale:				media durata			
Coefficients di correzione per la classe di servizio e per la durata del carico:							
$k_{mod}$	Carichi Pemanenti:		Classe di durata del carico		Classe di servizio:		1
	Carichi Esercizio:		permanente				0,6
			media durata				0,8
$k_{def}$							0,6
Coefficiente parziale - combinazioni fondamentali:				$\gamma_m =$	1,45		
Coefficiente parziale - combinazioni eccezionali:				$\gamma_m =$	1,00		
Resistenze di calcolo:							
	$f_{m,d} =$	17,66 MPa	$f_{c,0,d} =$	16,00 MPa			
	$f_{t,0,d} =$	12,41 MPa	$f_{c,90,d} =$	1,82 MPa			
	$f_{t,90,d} =$	0,28 MPa	$f_{v,d} =$	2,10 MPa			
Caratteristiche geometriche della trave							
Inclinazione sezione:				$\alpha = 0,00^\circ$			
b o D=	12	cm	$W_y =$	1152	cm <sup>3</sup>	$W_z =$	576 cm <sup>3</sup>
h o D=	24	cm	$J_y =$	13824	cm <sup>4</sup>	$J_z =$	3456 cm <sup>4</sup>
A =	288	cm <sup>2</sup>					
Stato limite ultimo - Sollecitazioni							
$M_{max} =$	10,0	kNm	$M_z =$	10,0	kNm	$M_y =$	0,0 kNm
$V_{max} =$	8,2	kN	$T_z =$	8,2	kN	$T_y =$	0,0 kN
Stato limite ultimo - Verifica a Flessione							
$k_m = 0,7$							
$f_{m,y,d} = f_{m,z,d} =$ resistenze di calcolo a flessione intorno agli assi principali =						17,66 MPa	
$\sigma_{m,y,d}, \sigma_{m,z,d} =$ tensioni di calcolo a flessione intorno agli assi principali							
$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{max} \cdot \cos \alpha}{W_y} = 8,65 \text{ MPa}$				$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,34 < 1 \text{ Verificato}$			
$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{max} \cdot \sin \alpha}{W_z} = 0,00 \text{ MPa}$				$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,49 < 1 \text{ Verificato}$			
Stato limite ultimo - Verifica a Taglio							
$\tau_d = 0,43 \text{ MPa}$				$< k_v \cdot f_{v,d} = 2,10 \text{ MPa}$		Verificato	
Stati limite di esercizio - Verifica a deformazione							
$f_0 = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EJ}$	SLRARA		SLFREQ		SLQPERM		
	0,87	cm	L/f = 556	0,68	cm	L/f = 710	0,61
							L/f = 799
$f_\infty = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EJ} (1 + k_{def})$	SLRARA		SLFREQ		SLQPERM		
	1,40	cm	L/f = 347	1,09	cm	L/f = 444	0,97
							L/f = 500

### 5.3.1.2 Trave di bordo T2

Si considerano le travi di bordo T2 poste a collegare i pilastri della struttura e sulle quali si appoggiano i solai. Si assume di assegnare la stessa sezione a tutte le travi di bordo del primo solaio (fatta eccezione per la T3 di cui si discuterà in seguito).

Anche in questo caso si considera dunque la condizione più gravosa prendendo nella fase di dimensionamento quella con area di influenza più grande e luce maggiore ( $L=4,85$  m).

Per la realizzazione si prende anche in questo caso legno lamellare di classe GL32h con sezione 24x40.

Nuovamente nella verifica della freccia ci si mantiene agevolmente sopra i limiti minimi consigliati in modo da conferire maggior rigidità all'impalcato e limitarne le deformazioni.

Di seguito viene riportata la verifica svolta su foglio Excel che dimostra l'idoneità delle travi previste.

## VERIFICA Trave SECONDARIA

### Caratteristiche di resistenza del materiale

### Lamellare GL32h

$f_{m,g,k} =$	32,0	MPa	$f_{v,g,k} =$	3,8	MPa	$E_{90,g,mean} =$	0,46	GPa
$f_{t,0,g,k} =$	22,5	MPa	$E_{0,g,mean} =$	13,7	GPa	$E_{90,g,05} =$	-	GPa
$f_{t,90,g,k} =$	0,5	MPa	$E_{0,g,05} =$	11,1	GPa	$G_{g,mean} =$	0,85	GPa
$f_{c,0,g,k} =$	29,0	MPa				$G_{g,05} =$	-	GPa
$f_{c,90,g,k} =$	3,3	MPa				$\gamma_{legno} =$	430	kg/m <sup>3</sup>

Classi di servizio:

Classe 1

Classe di durata del carico per carichi permanenti:

permanente

Classe di durata del carico per carichi di esercizio in generale:

media durata

Coefficienti di correzione per la classe di servizio e per la durata del carico:

$k_{mod}$		Classe di durata del carico	Classe di servizio:	1
	Carichi Permanenti:	permanente		0,6
	Carichi Esercizio:	media durata		0,8
$k_{def}$				0,6

Coefficiente parziale - combinazioni fondamentali:

$$\gamma_m = 1,45$$

Coefficiente parziale - combinazioni eccezionali:

$$\gamma_m = 1,00$$

Resistenze di calcolo:

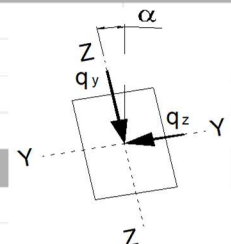
$f_{m,d} =$	17,66	MPa	$f_{c,0,d} =$	16,00	MPa
$f_{t,0,d} =$	12,41	MPa	$f_{c,90,d} =$	1,82	MPa
$f_{t,90,d} =$	0,28	MPa	$f_{v,d} =$	2,10	MPa

### Caratteristiche geometriche della trave

Inclinazione sezione:

$$\alpha = 0,00^\circ$$

b o D =	24	cm	$W_y =$	6400	cm <sup>3</sup>	$W_z =$	3840	cm <sup>3</sup>
h o D =	40	cm	$J_y =$	128000	cm <sup>4</sup>	$J_z =$	46080	cm <sup>4</sup>
A =	960	cm <sup>2</sup>						



### Stato limite ultimo - Sollecitazioni

$M_{max} =$	86,6	kNm	$M_z =$	86,6	kNm	$M_y =$	0,0	kNm
$V_{max} =$	71,4	kN	$T_z =$	71,4	kN	$T_y =$	0,0	kN

### Stato limite ultimo - Verifica a Flessione

$$k_m = 0,7$$

$f_{m,y,d} = f_{m,z,d} =$  resistenze di calcolo a flessione intorno agli assi principali = 17,66 MPa

$\sigma_{m,y,d}, \sigma_{m,z,d} =$  tensioni di calcolo a flessione intorno agli assi principali

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{max} \cdot \cos \alpha}{W_y} = 13,53 \text{ MPa} \\ \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{max} \cdot \sin \alpha}{W_z} = 0,00 \text{ MPa} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,54 < 1 \text{ Verificato} \\ \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,77 < 1 \text{ Verificato} \end{array} \right.$$

### Stato limite ultimo - Verifica a Taglio

$$\tau_d = 1,12 \text{ MPa} < k_v \cdot f_{v,d} = 2,10 \text{ MPa} \quad \text{Verificato}$$

### Stati limite di esercizio - Verifica a deformazione

	SLRARA		SLFREQ		SLQPERM				
$f_0 = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EJ}$	0,82	cm	L/f = 591	0,65	cm	L/f = 752	0,57	cm	L/f = 844
$f_\infty = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EJ} (1 + k_{def})$	1,31	cm	L/f = 369	1,03	cm	L/f = 470	0,92	cm	L/f = 527

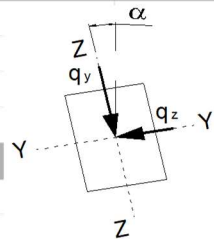
### 5.3.1.3 *Trave di bordo T3*

Si è valutata la necessità di considerare singolarmente la trave T3 posta in corrispondenza del foro scala in quanto per questioni di altezze minime si trova la necessità di realizzarla con una sezione più contenuta possibile in termini di altezza.

Nuovamente si utilizza legno lamellare di classe GL32h che con una luce  $L=4,85$  m, risulta verificata con una sezione di 24x28 cm. La dimensione più contenuta si ottiene in virtù del fatto che vi è un solo solaio che si poggia su questa trave in quanto dell'altro lato si trova il foro della scala.

Di seguito viene riportata la verifica svolta su foglio Excel che dimostra l'idoneità della trave prevista.

VERIFICA		Trave T3	
<b>Caratteristiche di resistenza del materiale</b>		<b>Lamellare GL32h</b>	
$f_{m,g,k} = 32,0$ MPa	$f_{v,g,k} = 3,8$ MPa	$E_{90,g,mean} = 0,46$ GPa	
$f_{t,0,g,k} = 22,5$ MPa	$E_{0,g,mean} = 13,7$ GPa	$E_{90,g,05} = -$ GPa	
$f_{t,90,g,k} = 0,5$ MPa	$E_{0,g,05} = 11,1$ GPa	$G_{g,mean} = 0,85$ GPa	
$f_{c,0,g,k} = 29,0$ MPa		$G_{g,05} = -$ GPa	
$f_{c,90,g,k} = 3,3$ MPa		$\gamma_{legno} = 430$ kg/m <sup>3</sup>	
Classi di servizio:		Classe 1	
Classe di durata del carico per carichi permanenti:		permanente	
Classe di durata del carico per carichi di esercizio in generale:		media durata	
Coefficienti di correzione per la classe di servizio e per la durata del carico:			
$k_{mod}$	Carichi Pemanenti:	Classe di durata del carico	Classe di servizio: 1
	Carichi Esercizio:	permanente	0,6
		media durata	0,8
$k_{def}$			0,6
Coefficiente parziale - combinazioni fondamentali:		$\gamma_m = 1,45$	
Coefficiente parziale - combinazioni eccezionali:		$\gamma_m = 1,00$	
Resistenze di calcolo:			
	$f_{m,d} = 17,66$ MPa	$f_{c,0,d} = 16,00$ MPa	
	$f_{t,0,d} = 12,41$ MPa	$f_{c,90,d} = 1,82$ MPa	
	$f_{t,90,d} = 0,28$ MPa	$f_{v,d} = 2,10$ MPa	
<b>Caratteristiche geometriche della trave</b>			
Inclinazione sezione:		$\alpha = 0,00^\circ$	
$b$ o $D = 24$ cm	$W_y = 3136$ cm <sup>3</sup>	$W_z = 2688$ cm <sup>3</sup>	
$h$ o $D = 28$ cm	$J_y = 43904$ cm <sup>4</sup>	$J_z = 32256$ cm <sup>4</sup>	
$A = 672$ cm <sup>2</sup>			
<b>Stato limite ultimo - Sollecitazioni</b>			
$M_{max} = 46,8$ kNm	$M_z = 46,8$ kNm	$M_y = 0,0$ kNm	
$V_{max} = 38,6$ kN	$T_z = 38,6$ kN	$T_y = 0,0$ kN	
<b>Stato limite ultimo - Verifica a Flessione</b>			
$k_m = 0,7$			
$f_{m,y,d} = f_{m,z,d} =$ resistenze di calcolo a flessione intorno agli assi principali =		17,66 MPa	
$\sigma_{m,y,d}, \sigma_{m,z,d} =$ tensioni di calcolo a flessione intorno agli assi principali			
$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{max} \cdot \cos \alpha}{W_y} = 14,93 \text{ MPa}$		$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,59 < 1 \text{ Verificato}$	
$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{max} \cdot \sin \alpha}{W_z} = 0,00 \text{ MPa}$		$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,85 < 1 \text{ Verificato}$	
<b>Stato limite ultimo - Verifica a Taglio</b>			
$\tau_d = 0,86$ MPa		$< k_v \cdot f_{v,d} = 2,10$ MPa	<b>Verificato</b>
<b>Stati limite di esercizio - Verifica a deformazione</b>			
$f_0 = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{EJ}$	SLRARA	SLFREQ	SLQPERM
	1,29 cm L/f = 375	1,01 cm L/f = 480	0,90 cm L/f = 540
$f_\infty = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{EJ} (1 + k_{def})$	2,07 cm L/f = 235	1,62 cm L/f = 300	1,44 cm L/f = 338



### 5.3.2 Copertura

Dall'analisi dei carichi in copertura e in virtù del fatto che il fabbricato verrà realizzato in alta quota, risalta subito l'entità del carico neve pari a  $9,78 \text{ kN/m}^2$  che imporrà una sezione delle travi molto più grande rispetto al leggero solaio interpiano.

Lo schema che si sceglie di utilizzare per la struttura del tetto prevede il posizionamento di una trave di colmo che poggia su pilastri o su delle capriate nel tratto in cui questi sono assenti, a questa sono ancorati a loro volta dei falsi puntoni che si sviluppano longitudinalmente alla pendenza del tetto appoggiandosi nel lato gronda ad una trave di bordo avente la stessa sezione di quella in sommità.

Si dimensionano dapprima i falsi puntoni, conseguentemente la trave di colmo e le capriate che servono a sostenere il tutto.

#### 5.3.2.1 Trave T4 (falso puntone)

Per il dimensionamento dei falsi puntoni ci si avvale del programma "All Wood Tools" nel quale inserendo le dimensioni della sezione lignea, i carichi agenti, l'inclinazione e lo schema statico, esegue le verifiche sull'elemento considerato.

Dai risultati dell'analisi si riportano brevemente i diagrammi di sollecitazione, di deformazione e le rispettive verifiche:



### CLASSE DI RESISTENZA – INFORMAZIONI SUL LEGNAME

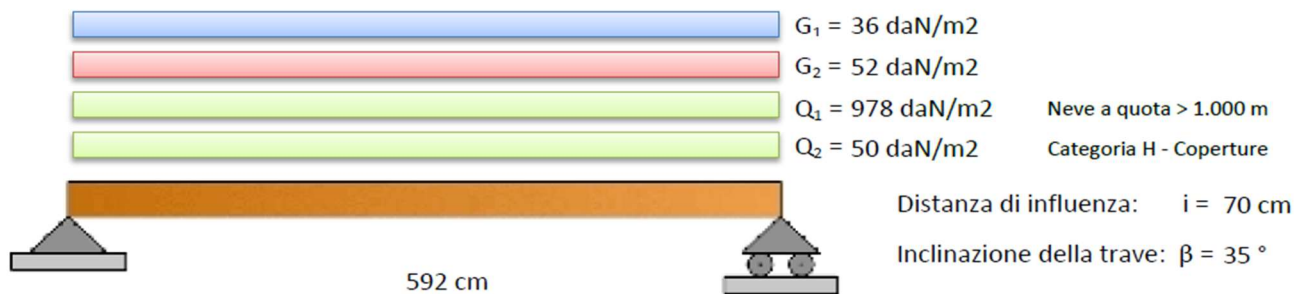
Tipologia del legname: Lamellare omogeneo - GL 32h - UNI EN 14080:2013

$f_{m,g,k} = 32,0 \text{ MPa}$	$E_{0,g,mean} = 14.200,0 \text{ MPa}$	$G_{g,mean} = 650,0 \text{ MPa}$
$f_{v,g,k} = 3,5 \text{ MPa}$	$E_{0,g,05} = 11.800,0 \text{ MPa}$	$G_{g,05} = 540,0 \text{ MPa}$
$\rho_{g,k} = 440,0 \text{ kg/mc}$	$E_{90,g,mean} = 300,0 \text{ MPa}$	$\rho_{g,mean} = 490,0 \text{ kg/mc}$

### CLASSE DI SERVIZIO E DI DURATA – COEFFICIENTE DI SICUREZZA

Classe di servizio: Classe di servizio 1 (ambiente protetto)	$k_{def} = 0,6$
Classe di durata del carico permanente: Permanente (più di 10 anni)	$k_{mod,G} = 0,6$
Classe di durata del carico variabile: Media durata (1 settimana ÷ 6 mesi)	$k_{mod,Q} = 0,8$
Coefficiente moltiplicativo del carico permanente G2:	$\gamma_{G2} = 0,8 \div 1,5$
Coefficiente di sicurezza del materiale: produzioni continuative	$\gamma_M = 1,35$

### COMBINAZIONE DEI CARICHI – SOLLECITAZIONI



#### SOLLECITAZIONI IN CONDIZIONE I

Carico momento max =  $71,6 \text{ daN/m}$   
 Momento max =  $313,5 \text{ daN m}$   
 Posizione momento max =  $296,0 \text{ cm}$

Carico taglio max =  $71,6 \text{ daN/m}$   
 Taglio max =  $211,8 \text{ daN}$   
 Posizione taglio max =  $0,0 \text{ cm}$

#### SOLLECITAZIONI IN CONDIZIONE II

Carico momento max =  $760,6 \text{ daN/m}$   
 Momento max =  $3.332,1 \text{ daN m}$   
 Posizione momento max =  $296,0 \text{ cm}$

Carico taglio max =  $760,6 \text{ daN/m}$   
 Taglio max =  $2.251,4 \text{ daN}$   
 Posizione taglio max =  $0,0 \text{ cm}$

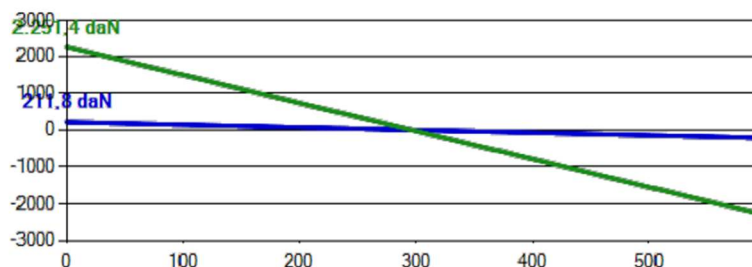
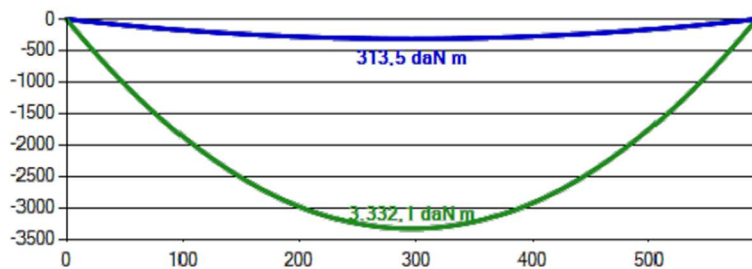


Figura 70: Sollecitazioni sulla trave T4

## VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Momento sollecitante:  $M_{ed,I} \div k_{mod,G} < M_{ed,II} \div k_{mod,Q} \rightarrow$  Condizione più gravosa: II  $\rightarrow M_{ed} = 3.332,1 \text{ daN m}$

Tensioni di progetto:  $\sigma_{m,y,d} = 141,7 \text{ daN/cm}^2$   $\sigma_{m,z,d} = 0,0 \text{ daN/cm}^2$

Coefficienti moltiplicativi resistenze:  $k_{h,H} = 1,079$   $k_{h,B} = 1,100$

Resistenze di progetto:  $f_{m,y,d} = 204,6 \text{ daN/cm}^2$   $f_{m,z,d} = 208,6 \text{ daN/cm}^2$

Altri coefficienti:  $k_m = 0,7$   $k_{crit,m} = 1,000$

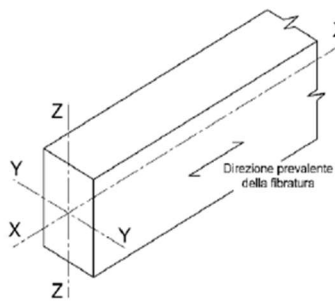
Taglio sollecitante:  $V_{ed,I} \div k_{mod,G} < V_{ed,II} \div k_{mod,Q} \rightarrow$  Condizione più gravosa: II  $\rightarrow V_{ed} = 2.251,4 \text{ daN}$

Tensione e resistenza di progetto:  $\tau_d = 10,0 \text{ daN/cm}^2$   $f_{v,d} = 20,7 \text{ daN/cm}^2$

Coefficienti di combinazione:  $\psi_{01}=0,7$  -  $\psi_{11}=0,5$  -  $\psi_{21}=0,2$  -  $\psi_{02}=0$  -  $\psi_{12}=0$  -  $\psi_{22}=0$

Posizione di applicazione del carico: Carico applicato nel baricentro o nell'asse della trave

### SEZIONE TRAVE – DEFORMAZIONI

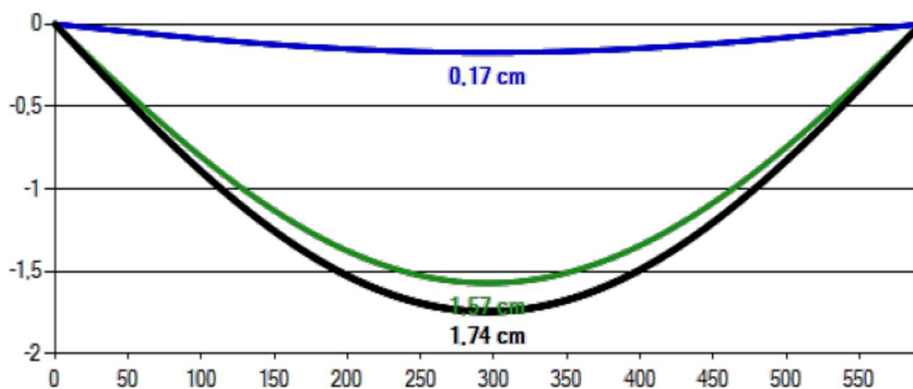


Area della sezione:  $A = 504,0 \text{ cm}^2$   
 Modulo di resistenza, YY:  $W_{yy} = 2.352,0 \text{ cm}^3$   
 Modulo di resistenza, ZZ:  $W_{zz} = 1.512,0 \text{ cm}^3$   
 Momento di inerzia, YY:  $J_{yy} = 32.928,0 \text{ cm}^4$   
 Momento di inerzia, ZZ:  $J_{zz} = 13.608,0 \text{ cm}^4$   
 Rotazione della sezione:  $\alpha = 0^\circ$



H=28 cm

B=18 cm



$w_{ist,G} = 0,17 \text{ cm}$   
 $w_{ist,Q} = 1,57 \text{ cm}$   
 $w_{ist} = 1,74 \text{ cm}$   
 $w_{in,Q} = 0,31 \text{ cm}$   
 $w_{in} = 0,49 \text{ cm}$   
 $w_{creep} = 0,29 \text{ cm}$   
 $w_c = 0,00 \text{ cm}$   
 $w_{net,fin} = 2,04 \text{ cm}$   
 $w_{fin} = 2,04 \text{ cm}$

Figura 71: freccia su trave T4



VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO		VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO	
$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	0,69 < 1,00	$w_{ist} \leq L / 300$	1,74 cm < 1,97 cm
$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	0,48 < 1,00	$w_{net,fin} \leq L / 250$	2,04 cm < 2,37 cm
$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit,m} f_{m,d}} \leq 1$	0,68 < 1,00	$w_{fin} \leq L / 150$	2,04 cm < 3,95 cm
$\tau_d \leq f_{v,d}$	10,00 < 20,74		

### 5.3.2.2 Trave di colmo T5

Per il colmo della copertura si utilizzano sempre travi in legno lamellare di classe GL32h che saranno sostenute dai pilastri D1, D2 e D6, oltre che da 3 capriate. Si svolge il dimensionamento di queste travi prendendo il caso di quella con luce maggiore che risulta essere pari a  $L=4,56$  m e su cui si considera un interasse in proiezione orizzontale fra la trave di colmo e quella di bordo della copertura di  $i=4,85$  m.

Dai risultati dell'analisi si riportano brevemente i diagrammi di sollecitazione, di deformazione e le rispettive verifiche:

#### **CLASSE DI RESISTENZA – INFORMAZIONI SUL LEGNAME**

Tipologia del legname: Lamellare omogeneo - GL 32h - UNI EN 14080:2013

$$f_{m,g,k} = 32,0 \text{ MPa}$$

$$E_{0,g,mean} = 14.200,0 \text{ MPa}$$

$$G_{g,mean} = 650,0 \text{ MPa}$$

$$f_{v,g,k} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$E_{0,g,05} = 11.800,0 \text{ MPa}$$

$$G_{g,05} = 540,0 \text{ MPa}$$

$$\rho_{g,k} = 440,0 \text{ kg/mc}$$

$$E_{90,g,mean} = 300,0 \text{ MPa}$$

$$\rho_{g,mean} = 490,0 \text{ kg/mc}$$

#### **CLASSE DI SERVIZIO E DI DURATA – COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

Classe di servizio: Classe di servizio 1 (ambiente protetto)

$$k_{def} = 0,6$$

Classe di durata del carico permanente: Permanente (più di 10 anni)

$$k_{mod,G} = 0,6$$

Classe di durata del carico variabile: Media durata (1 settimana ÷ 6 mesi)

$$k_{mod,Q} = 0,8$$

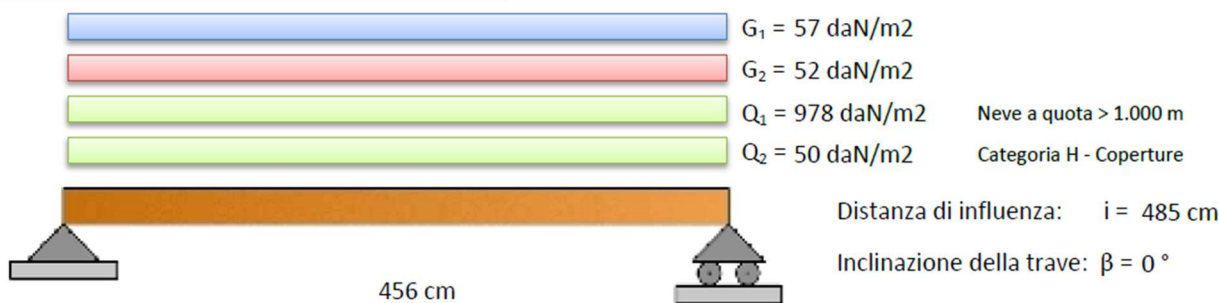
Coefficiente moltiplicativo del carico permanente G2:

$$\gamma_{G2} = 0,8 \div 1,5$$

Coefficiente di sicurezza del materiale: produzioni continuative

$$\gamma_M = 1,35$$

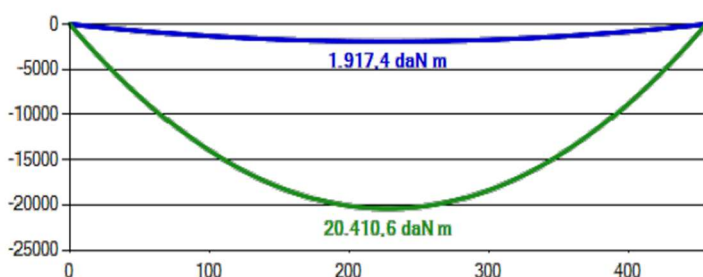
## COMBINAZIONE DEI CARICHI – SOLLECITAZIONI



### SOLLECITAZIONI IN CONDIZIONE I

Carico momento max = 737,7 daN/m  
 Momento max = 1.917,4 daN m  
 Posizione momento max = 228,0 cm

Carico taglio max = 737,7 daN/m  
 Taglio max = 1.681,9 daN  
 Posizione taglio max = 0,0 cm



### SOLLECITAZIONI IN CONDIZIONE II

Carico momento max = 7.852,6 daN/m  
 Momento max = 20.410,6 daN m  
 Posizione momento max = 228,0 cm

Carico taglio max = 7.852,6 daN/m  
 Taglio max = 17.904,0 daN  
 Posizione taglio max = 0,0 cm

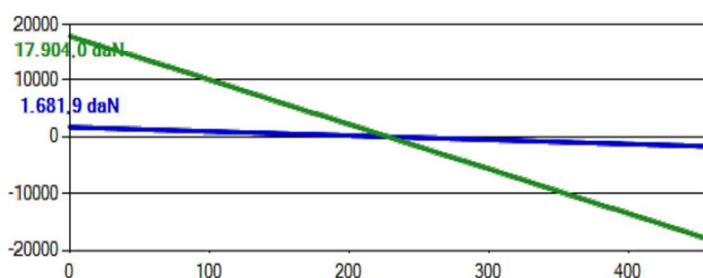


Figura 72: sollecitazioni su trave T5

## VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Momento sollecitante:  $M_{ed,I} \div k_{mod,G} < M_{ed,II} \div k_{mod,Q}$  --> Condizione più gravosa: II -->  $M_{ed} = 20.410,6 \text{ daN m}$

Tensioni di progetto:  $\sigma_{m,y,d} = 100,1 \text{ daN/cm}^2$        $\sigma_{m,z,d} = 0,0 \text{ daN/cm}^2$

Coefficienti moltiplicativi resistenze:  $k_{h,H} = 1,000$        $k_{h,B} = 1,058$

Resistenze di progetto:  $f_{m,y,d} = 189,6 \text{ daN/cm}^2$        $f_{m,z,d} = 200,7 \text{ daN/cm}^2$

Altri coefficienti:  $k_m = 0,7$        $k_{crit,m} = 1,000$

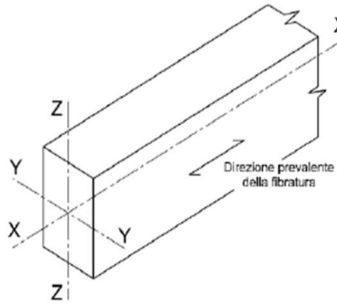
Taglio sollecitante:  $V_{ed,I} \div k_{mod,G} < V_{ed,II} \div k_{mod,Q}$  --> Condizione più gravosa: II -->  $V_{ed} = 17.904,0 \text{ daN}$

Tensione e resistenza di progetto:  $\tau_d = 19,6 \text{ daN/cm}^2$        $f_{v,d} = 20,7 \text{ daN/cm}^2$

Coefficienti di combinazione:  $\psi_{01}=0,7$  -  $\psi_{11}=0,5$  -  $\psi_{21}=0,2$  -  $\psi_{02}=0$  -  $\psi_{12}=0$  -  $\psi_{22}=0$

Posizione di applicazione del carico: Carico applicato nel baricentro o nell'asse della trave

**SEZIONE TRAVE – DEFORMAZIONI**

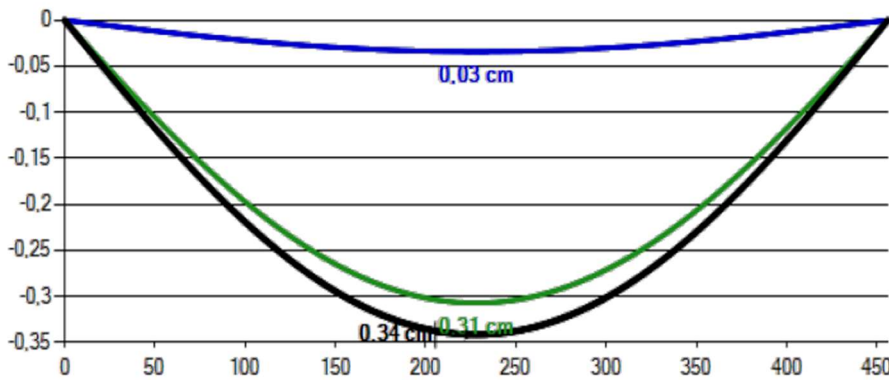


Area della sezione:  $A = 2.040,0 \text{ cm}^2$   
 Modulo di resistenza, YY:  $W_{yy} = 20.400,0 \text{ cm}^3$   
 Modulo di resistenza, ZZ:  $W_{zz} = 11.560,0 \text{ cm}^3$   
 Momento di inerzia, YY:  $J_{yy} = 612.000,0 \text{ cm}^4$   
 Momento di inerzia, ZZ:  $J_{zz} = 196.520,0 \text{ cm}^4$   
 Rotazione della sezione:  $\alpha = 0^\circ$



H=60 cm

B=34 cm



$w_{ist,G} = 0,03 \text{ cm}$   
 $w_{ist,Q} = 0,31 \text{ cm}$   
 $w_{ist} = 0,34 \text{ cm}$   
 $w_{in,Q} = 0,06 \text{ cm}$   
 $w_{in} = 0,10 \text{ cm}$   
 $w_{creep} = 0,06 \text{ cm}$   
 $w_c = 0,00 \text{ cm}$   
 $w_{net,fin} = 0,40 \text{ cm}$   
 $w_{fin} = 0,40 \text{ cm}$

Figura 73: deformazioni su trave T5

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO		VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO	
$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	0,53 < 1,00	$w_{ist} \leq L / 300$	0,34 cm < 1,52 cm
$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	0,37 < 1,00	$w_{net,fin} \leq L / 250$	0,40 cm < 1,82 cm
$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit,m} f_{m,d}} \leq 1$	0,50 < 1,00	$w_{fin} \leq L / 150$	0,40 cm < 3,04 cm
$\tau_d \leq f_{v,d}$	19,65 < 20,74		

### 5.3.2.3 Trave di bordo T6

#### CLASSE DI RESISTENZA – INFORMAZIONI SUL LEGNAME

Tipologia del legname: Lamellare omogeneo - GL 32h - UNI EN 14080:2013

$$f_{m,g,k} = 32,0 \text{ MPa}$$

$$f_{v,g,k} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$\rho_{g,k} = 440,0 \text{ kg/mc}$$

$$E_{0,g,mean} = 14.200,0 \text{ MPa}$$

$$E_{0,g,05} = 11.800,0 \text{ MPa}$$

$$E_{90,g,mean} = 300,0 \text{ MPa}$$

$$G_{g,mean} = 650,0 \text{ MPa}$$

$$G_{g,05} = 540,0 \text{ MPa}$$

$$\rho_{g,mean} = 490,0 \text{ kg/mc}$$

#### CLASSE DI SERVIZIO E DI DURATA – COEFFICIENTE DI SICUREZZA

Classe di servizio: Classe di servizio 1 (ambiente protetto)

$$k_{def} = 0,6$$

Classe di durata del carico permanente: Permanente (più di 10 anni)

$$k_{mod,G} = 0,6$$

Classe di durata del carico variabile: Media durata (1 settimana ÷ 6 mesi)

$$k_{mod,Q} = 0,8$$

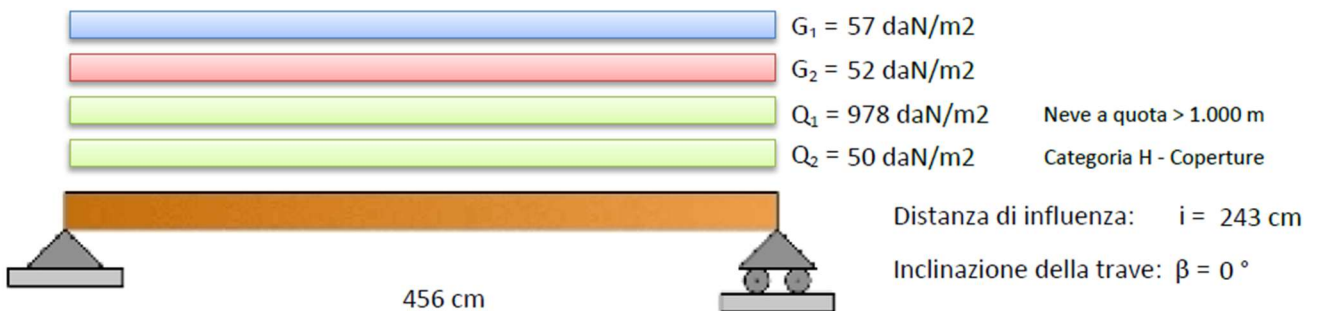
Coefficiente moltiplicativo del carico permanente G2:

$$\gamma_{G2} = 0,8 \div 1,5$$

Coefficiente di sicurezza del materiale: produzioni continuative

$$\gamma_M = 1,35$$

#### COMBINAZIONE DEI CARICHI – SOLLECITAZIONI



#### SOLLECITAZIONI IN CONDIZIONE I

Carico momento max = 369,6 daN/m  
 Momento max = 960,7 daN m  
 Posizione momento max = 228,0 cm

Carico taglio max = 369,6 daN/m  
 Taglio max = 842,7 daN  
 Posizione taglio max = 0,0 cm

#### SOLLECITAZIONI IN CONDIZIONE II

Carico momento max = 3.934,4 daN/m  
 Momento max = 10.226,3 daN m  
 Posizione momento max = 228,0 cm

Carico taglio max = 3.934,4 daN/m  
 Taglio max = 8.970,5 daN  
 Posizione taglio max = 0,0 cm

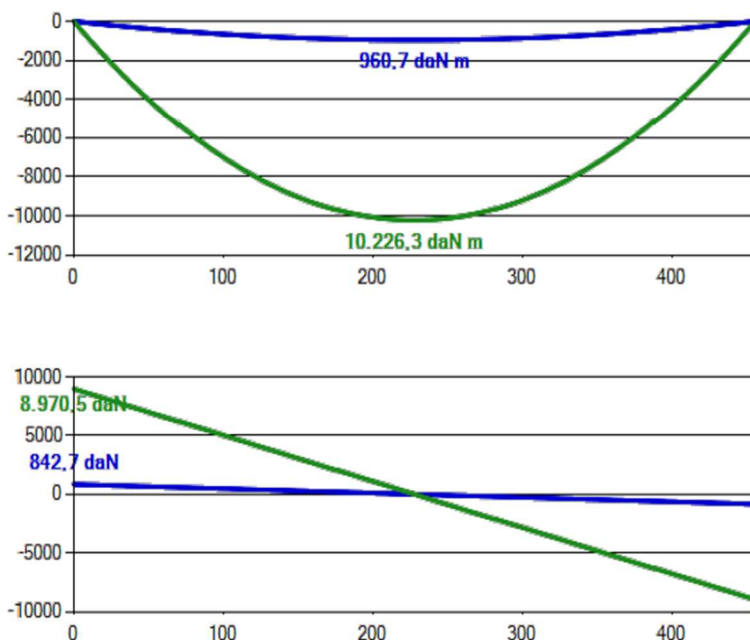


Figura 74: deformazione trave T6



## VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Momento sollecitante:  $M_{ed,I} \div k_{mod,G} < M_{ed,II} \div k_{mod,Q} \rightarrow$  Condizione più gravosa: II  $\rightarrow M_{ed} = 10.226,3 \text{ daN m}$

Tensioni di progetto:  $\sigma_{m,y,d} = 132,1 \text{ daN/cm}^2$   $\sigma_{m,z,d} = 0,0 \text{ daN/cm}^2$

Coefficienti moltiplicativi resistenze:  $k_{h,H} = 1,032$   $k_{h,B} = 1,096$

Resistenze di progetto:  $f_{m,y,d} = 195,6 \text{ daN/cm}^2$   $f_{m,z,d} = 207,8 \text{ daN/cm}^2$

Altri coefficienti:  $k_m = 0,7$   $k_{crit,m} = 1,000$

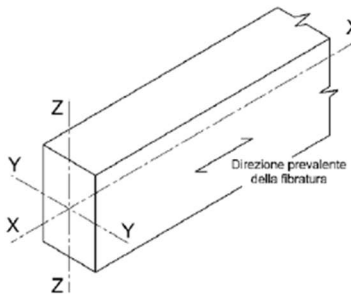
Taglio sollecitante:  $V_{ed,I} \div k_{mod,G} < V_{ed,II} \div k_{mod,Q} \rightarrow$  Condizione più gravosa: II  $\rightarrow V_{ed} = 8.970,5 \text{ daN}$

Tensione e resistenza di progetto:  $\tau_d = 19,0 \text{ daN/cm}^2$   $f_{v,d} = 20,7 \text{ daN/cm}^2$

Coefficienti di combinazione:  $\psi_{01}=0,7 - \psi_{11}=0,5 - \psi_{21}=0,2 - \psi_{02}=0 - \psi_{12}=0 - \psi_{22}=0$

Posizione di applicazione del carico: Carico applicato nel baricentro o nell'asse della trave

## SEZIONE TRAVE – DEFORMAZIONI

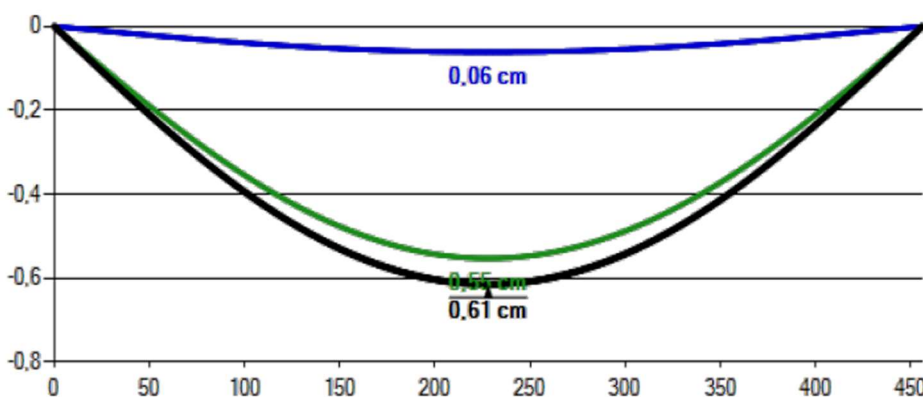


Area della sezione:  $A = 1.056,0 \text{ cm}^2$   
 Modulo di resistenza, YY:  $W_{yy} = 7.744,0 \text{ cm}^3$   
 Modulo di resistenza, ZZ:  $W_{zz} = 4.224,0 \text{ cm}^3$   
 Momento di inerzia, YY:  $J_{yy} = 170.368,0 \text{ cm}^4$   
 Momento di inerzia, ZZ:  $J_{zz} = 50.688,0 \text{ cm}^4$   
 Rotazione della sezione:  $\alpha = 0^\circ$



H=44 cm

B=24 cm



$w_{ist,G} = 0,06 \text{ cm}$

$w_{ist,Q} = 0,55 \text{ cm}$

$w_{ist} = 0,61 \text{ cm}$

$w_{in,Q} = 0,11 \text{ cm}$

$w_{in} = 0,17 \text{ cm}$

$w_{creep} = 0,10 \text{ cm}$

$w_c = 0,00 \text{ cm}$

$w_{net,fin} = 0,72 \text{ cm}$

$w_{fin} = 0,72 \text{ cm}$

Figura 75: deformazione trave T6

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO		VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO	
$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	0,68 < 1,00	$w_{ist} \leq L / 300$	0,61 cm < 1,52 cm
$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	0,47 < 1,00	$w_{net,fin} \leq L / 250$	0,72 cm < 1,82 cm
$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit,m} f_{m,d}} \leq 1$	0,64 < 1,00	$w_{fin} \leq L / 150$	0,72 cm < 3,04 cm
$\tau_d \leq f_{v,d}$	19,02 < 20,74		



#### 5.3.2.4 Capriate

Si progettano 3 capriate uguali che avranno la funzione di sostenere la trave di colmo e di scaricare il peso della copertura sui pilastri laterali. Nella zona centrale dell'edificio infatti, a causa della disposizione architettonica degli spazi interni, non è stato possibile arrivare fino in copertura con alcuni pilastri e si è quindi deciso di adottare una soluzione a capriate.

Si prevedono delle capriate di tipo "moderno" con doppia catena in legno collegata ai puntoni mediante spinotti metallici.

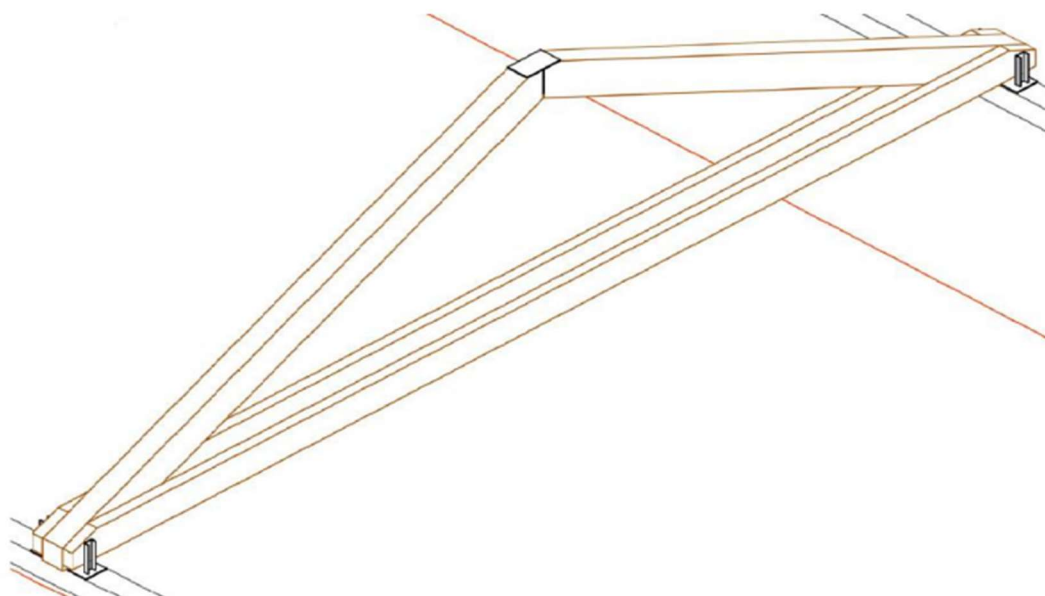


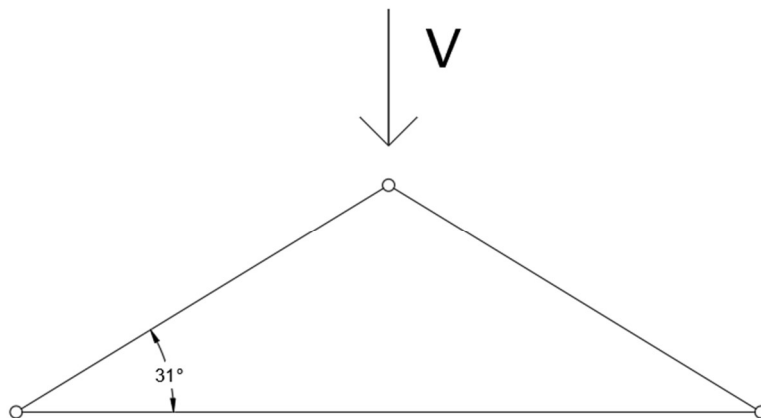
Figura 76: Capriata tipo

Per la realizzazione si utilizza come in precedenza legno lamellare GL32h. Si decide di affidare alle capriate soltanto il carico proveniente dalle due travi di colmo che dovranno sostenere. Il tavolato di copertura, dunque, non si appoggia all'estradosso dei puntoni e non crea momento flettente su di essi saranno dunque soggetti e andranno verificati solo per sforzo normale e instabilità.

Lo schema statico che rappresenta la situazione nella capriata risulta essere quindi il seguente, nel quale si prende il carico  $V$ , proveniente dalle travi di colmo, pari al massimo taglio agente su di esse.

Avendo  $T=179$  kN si può assumere arrotondando per eccesso:

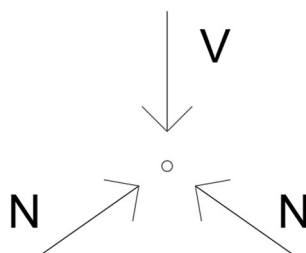
$$V = 360 \text{ kN}$$



*Figura 77: Schema rappresentativo della capriata*

Trascurando i pesi propri degli elementi si risolve la struttura:

#### 5.3.2.4.1 NODO PUNTONE-PUNTONE:



*Figura 78: Schema delle forze nel nodo puntone-puntone*

In cui si calcola lo sforzo normale sui puntone:

$$N = \frac{V}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{360 \text{ kN}}{2 \cdot \sin 31} = 350 \text{ kN}$$

#### 5.3.2.4.2 NODO CATENA-PUNTONE:

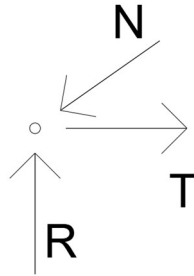


Figura 79: Schema delle forze nel nodo catena-puntone

$$T = N \cdot \cos \alpha = 313,8 \cdot \cos 31 = 300 \text{ kN}$$

$$R = N \cdot \sin \alpha = 313,8 \cdot \sin 31 = 180 \text{ kN}$$

### **VERIFICHE:**

#### 5.3.2.4.3 VERIFICA A STABILITA' DEL PUNTONE:

con la ragionevole ipotesi di trascurare il peso proprio della capriata, il puntone risulta soggetto unicamente alla sollecitazione di compressione  $N$  appena calcolata. L'instabilità dell'elemento può avvenire in entrambe le direzioni e dunque la verifica prevede di soddisfare la condizione:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$$

dove  $k_c = \min(k_{c,y}, k_{c,z})$

La lunghezza libera di inflessione del puntone è pari alla lunghezza dell'elemento stesso ( $l_0 = 5,9 \text{ m}$ )

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{313,8 \cdot 10^3}{360 \cdot 240} = 4,05 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 16 \text{ MPa}$$

$$I_z = \frac{b^3 \cdot h}{12} = \frac{240^3 \cdot 360}{12} = 4,15 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 69,28 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{0z}}{i_z} = \frac{5900}{69,28} = 85,16$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,41$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,60$$

$$k_c = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,42$$

Ora per verificare la resistenza a instabilità deve valere la seguente disuguaglianza:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$$

$$4,05 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 0,42 \cdot 16,00 = 6,72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

#### 5.3.2.4.4 VERIFICA A RESISTENZA DELLA CATENA:

la forza di trazione massima a cui è soggetta la catena vale T=300 kN. Questo elemento è costituito da due elementi che reagiscono in parallelo e che sono collegati ai puntoni mediante dei connettori (di diametro 20 mm) passanti e imbullonati. Si prende per ognuno dei due elementi lignei una sezione

rettangolare da 150 x 360 mm che nelle verifiche verrà poi ridotta alla sezione netta, detraendo dunque l'area dei fori.

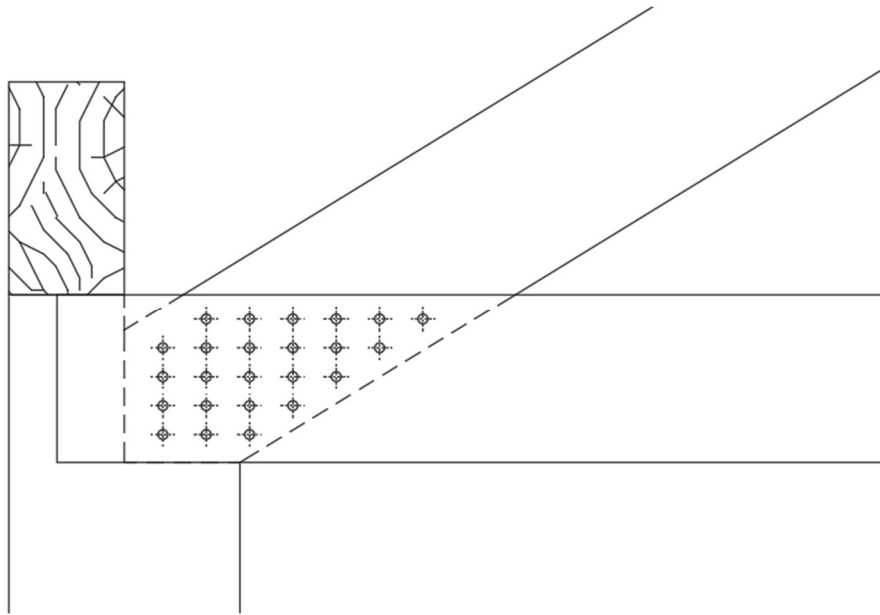


Figura 80: Schematizzazione del fissaggio catena-puntone

Nella verifica della catena, in corrispondenza delle sue estremità in cui si trovano gli spinotti si deve tener conto del momento flettente dall'eccentricità della forza di trazione trasmessa. Come in accordo con il DIN 1052:2004, nel caso di giunti serrati mediante elementi di chiusura (bullonature) si può tener conto in modo semplificato di tale effetto all'interno della verifica soddisfacendo la disuguaglianza:

$$\sigma_{t,0,d} \leq \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}$$

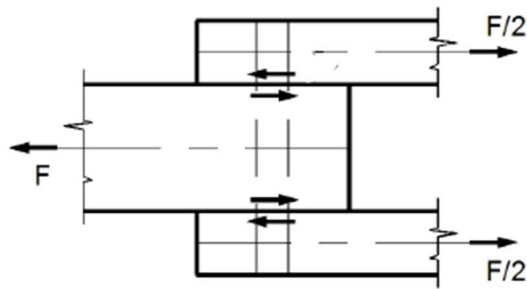


Figura 81: Trasmissione delle forze catena-puntone

Si ricorda inoltre che l'azione sulla catena viene divisa equamente sui suoi 2 elementi, ognuno dei quali dovrà quindi conferire un tiro  $T=150$  kN.

Si calcola l'area netta reagente in ciascuno dei due elementi tesi:

$$A_{netta} = 150 \cdot (360 - 5 \cdot 16) = 4,05 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{T_d}{A_{netta}} = 3,70 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 12,41 \text{ MPa}$$

Dunque, nella verifica a trazione il calcolo risulta verificato:

$$\sigma_{t,0,d} \leq \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}$$

Avendo

$$3,70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \frac{2}{3} \cdot 12,41 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 8,27 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

VERIFICA DELL'APPOGGIO: la forza di compressione nel punto in cui la capriata appoggia sul pilastro vale  $R=180$  kN. Si prevede di poggiare

direttamente la parte terminale dei puntoni sul pilastro in legno lamellare con una superficie d'appoggio di 240x240 mm. Inoltre, visto che il puntone ha la stessa larghezza del pilastro d'appoggio si ottiene l'ancoraggio tra i due elementi facendo passare due piastre in acciaio tra gli elementi della catena e il puntone, fissando poi con dei bulloni passanti i due elementi tra loro.

In figura seguente viene rappresentata la connessione tra i due elementi lignei:

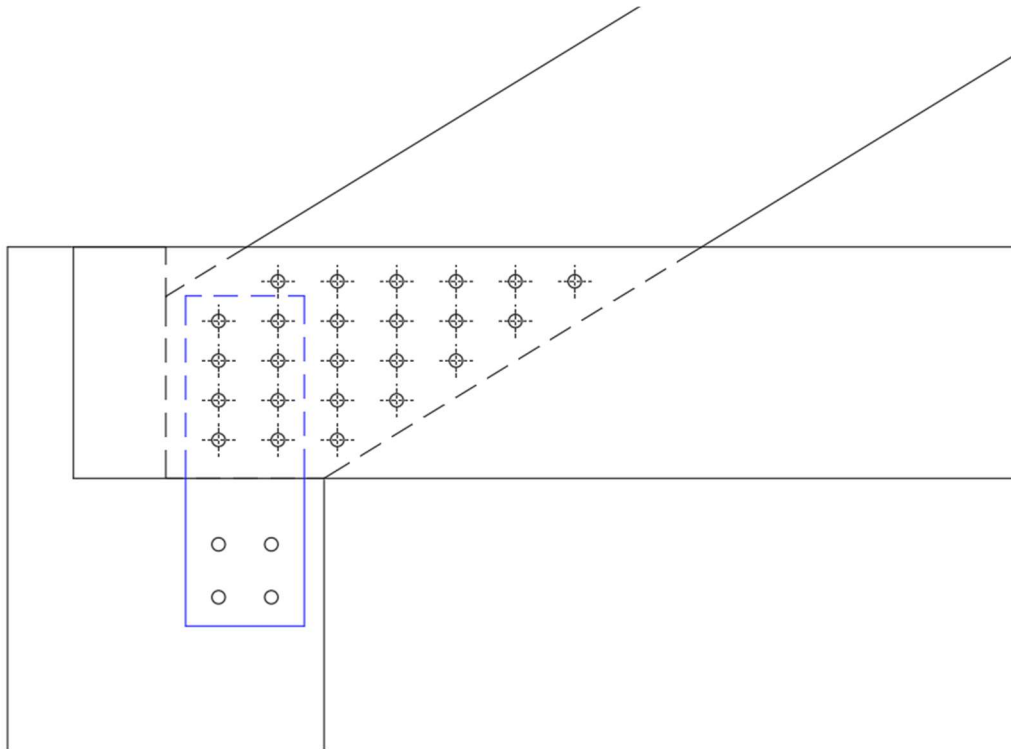


Figura 82: Piastra di fissaggio capriata-pilastro

Per verificare l'appoggio la disuguaglianza che deve essere soddisfatta è la seguente:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A_\alpha} = \frac{180 \cdot 10^3}{240 \cdot 240} = 3,125 \text{ MPa}$$



$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1,82 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 16 \text{ MPa}$$

La resistenza a compressione ortogonale alla fibra risulta quindi verificata:

$$\begin{aligned} \sigma_{c,\alpha,d} = 3,125 \text{ MPa} &\leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{16}{\frac{16}{1,82} \cdot \sin^2(31) + \cos^2(31)} \\ &= 5,21 \text{ MPa} \end{aligned}$$

#### 5.3.2.4.5 VERIFICA DEL COLLEGAMENTO PUNTONE-CATENA:

il collegamento è realizzato tramite 22 perni passanti da 16 mm in acciaio S750 inseriti in fori calibrati con il medesimo diametro. La sollecitazione a cui devono resistere i bulloni è pari alla trazione presente nella catena  $T=300 \text{ kN}$  e per il serraggio si utilizzano bulloni da 16 mm in acciaio 4.6.

Per verificare la connessione si considerano i seguenti modelli in cui sono rappresentate giunzioni legno-legno a 2 piani di taglio:

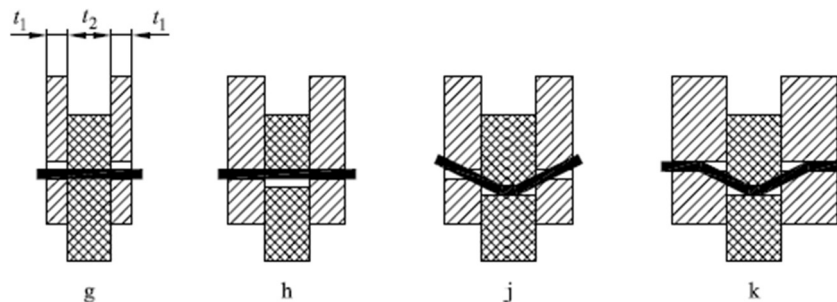


Figura 83: schematizzazione metodi di rottura dei perni passanti nella capriata

La capacità portante su ogni singolo piano di taglio viene fornita per mezzo delle relazioni seguenti:

$F_{v,Rk}$

$$= \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (g) \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (h) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} t_1^2 d}} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (j) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$

Con:

- $\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 0,865$  rapporto fra le resistenze e rifollamento degli elementi
- $F_{v,Rk}$  capacità portante caratteristica per ogni singolo piano di taglio e per il singolo mezzo di unione
- $t_1$  spessore dell'elemento 1 (catena)
- $t_2$  spessore dell'elemento 2 (puntone)
- $f_{h,1,k}$  resistenza caratteristica a rifollamento dell'elemento ligneo i-esimo
- $d$  diametro del mezzo di unione
- $M_{y,Rk}$  resistenza caratteristica di snervamento per il mezzo di unione
- $F_{ax,Rk}$  capacità caratteristica assiale a estrazione per il mezzo di unione (nulla nel caso dei perni)

Nello specifico caso considerato:

PERNI: acciaio S275

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$f_{u,k} = 430 \text{ MPa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 174302 \text{ Nmm}$$

CATENA: legno lamellare GL32h

$$\rho_{k,1} = 430 \text{ kg/m}^3$$

$$t_1 = 150 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = 0^\circ$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 29,62 \text{ N/mm}^2$$

PUNTONE: legno lamellare GL32h

$$\rho_{k,1} = 430 \text{ kg/m}^3$$

$$t_1 = 240 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 31^\circ$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,59$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 29,62 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = 25,61 \text{ N/mm}^2$$

RESISTENZA PERNO:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,g} = 71,09 \text{ kN} \\ F_{v,Rk,h} = 49,17 \text{ kN} \\ F_{v,Rk,j} = 47,96 \text{ kN} \\ F_{v,Rk,k} = 13,54 \text{ kN} \end{cases}$$

da cui se ne deduce che la modalità di rottura del perno è la (k):

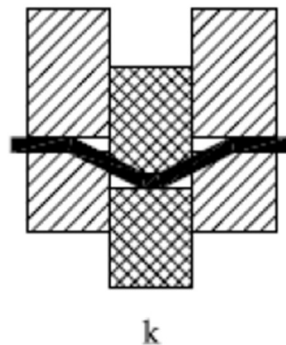


Figura 84: Metodo di rottura k per il perno passante

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 9,37 \text{ kN}$$

Nel caso di perni su una trave in legno che agiscono in direzione parallela alla fibratura del legno, la capacità portante deve essere valutata tramite la determinazione di un numero efficace come di seguito:

$$n_{ef} = \min \left\{ n, \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right\}$$

Che nello specifico caso in esame deve essere valutato per ognuna delle quattro file di bulloni, avendo tutte un numero diverso di elementi:

$$n_{ef,a} = n_{ef,b} = \min \left\{ 6, \sqrt[4]{\frac{90}{13 \cdot 16}} \right\} = 4,07$$

$$n_{ef,c} = \min \left\{ 5, \sqrt[4]{\frac{90}{13 \cdot 16}} \right\} = 3,45$$

$$n_{ef,d} = \min \left\{ 4, \sqrt[4]{\frac{90}{13 \cdot 16}} \right\} = 2,82$$

$$n_{ef,e} = \min \left\{ 3, \sqrt[4]{\frac{90}{13 \cdot 16}} \right\} = 2,18$$

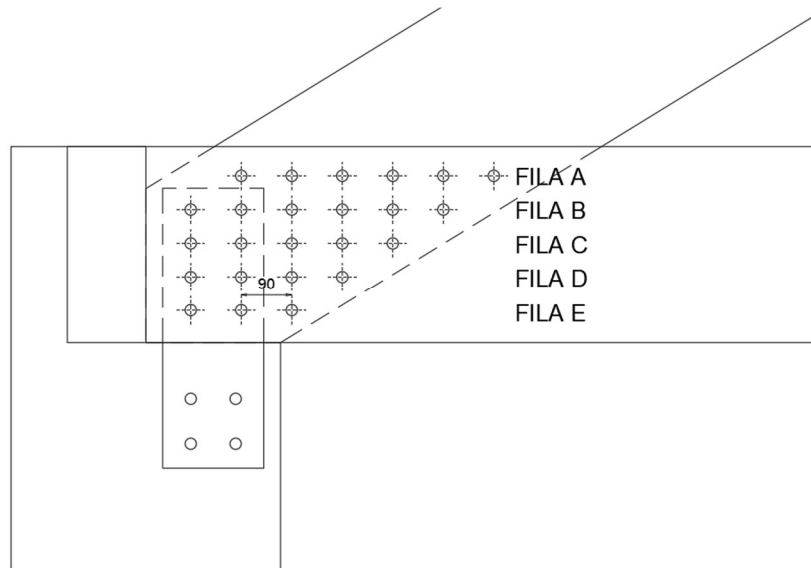


Figura 85: schema disposizione bulloni di fissaggio catena-puntone

Da cui si calcola la resistenza totale:

$$F_{v,TOT,Rd} = 2 \cdot (n_{ef,a} + n_{ef,b} + n_{ef,c} + n_{ef,d} + n_{ef,e}) \cdot F_{v,Rd} = 310,89 \text{ kN}$$

Risulta quindi verificata la resistenza della connessione:

$$T = 300 \text{ kN} \leq 310,89 \text{ kN} = F_{v,TOT,Rd}$$

#### 5.3.2.4.5.1 PRESCRIZIONI GEOMETRICHE:

Si riportano in forma tabellare le indicazioni riguardanti la distanza tra i perni riportate nell'Eurocodice 5:

Spaziature e distanze da bordi/estremità (vedere la figura 8.7)	Angolo	Minima spaziatura o distanza da bordo/estremità
$a_1$ (parallela alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3 + 2  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (ortogonale alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$
$a_{3,t}$ (estremità sollecitata)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\max(a_{3,t}  \sin \alpha ) d; 3d$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$3d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t}  \sin \alpha ) d; 3d$
$a_{4,t}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 130^\circ$	$\max((2 + 2 \sin \alpha) d; 3d)$
$a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$

Come viene di seguito dimostrato queste distanze minime sono state calcolate e rispettate nell'applicazione dei fori e dei perni di collegamento al nodo della capriata:

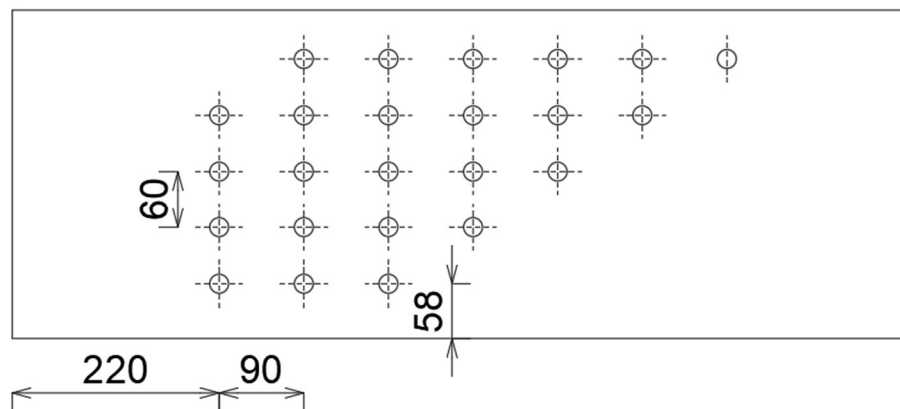
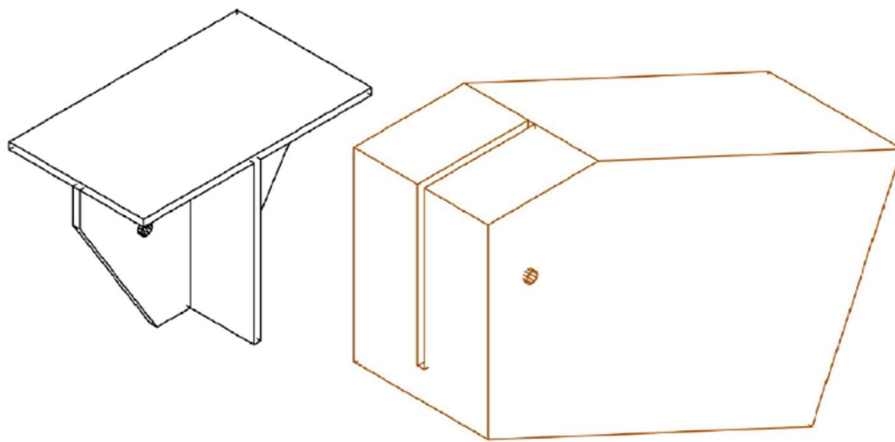


Figura 86: quotatura fori per barre passanti di fissaggio catena-puntone

In modo analogo si controllano le distanze minime anche sul puntone.

#### 5.3.2.4.6 COLLEGAMENTO PUNTONE-PUNTONE:

il collegamento fra i due elementi compressi viene realizzato mediante una piastra in acciaio irrigidita su cui poggierà e verrà ancorata successivamente la trave di colmo. Per il serraggio sono utilizzati 2 bulloni da 16 mm in acciaio inseriti in sedi perforate che non vengono considerati nel dimensionamento del collegamento in quanto non si ritengono soggetti a criticità come lo sono quelli nel nodo catena-puntone. Viene di seguito riportata un'immagine rappresentativa del collegamento previsto.



*Figura 87: elemento di fissaggio per collegamento puntone-puntone*

Schematicamente la rappresentazione di tale collegamento e della distribuzione delle forze su di esso viene riportata in figura seguente:



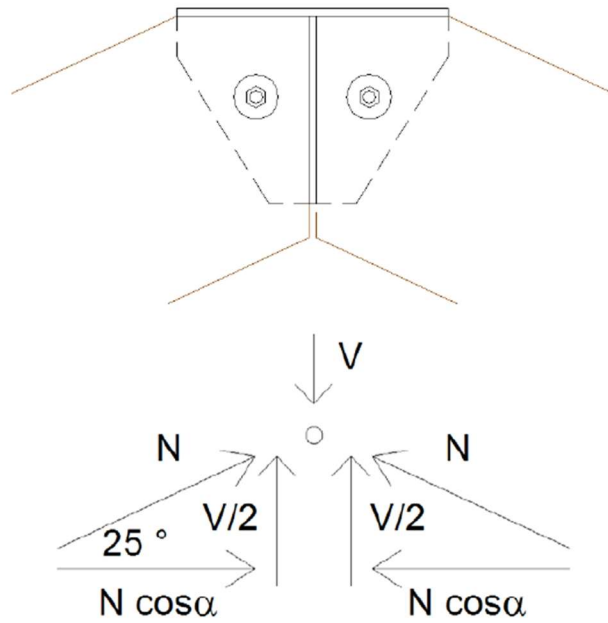


Figura 88: Schema delle forze scomposte nel nodo puntone-puntone

La verifica delle forze di contatto tra le superfici deve soddisfare la seguente condizione:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Per la resistenza di calcolo a compressione ortogonale alle fibre, in accordo con quanto riportato nel CNR-DT 206/2007, si assume un valore pari a 1,5 volte quello riportato nel profilo caratteristico del materiale utilizzato.

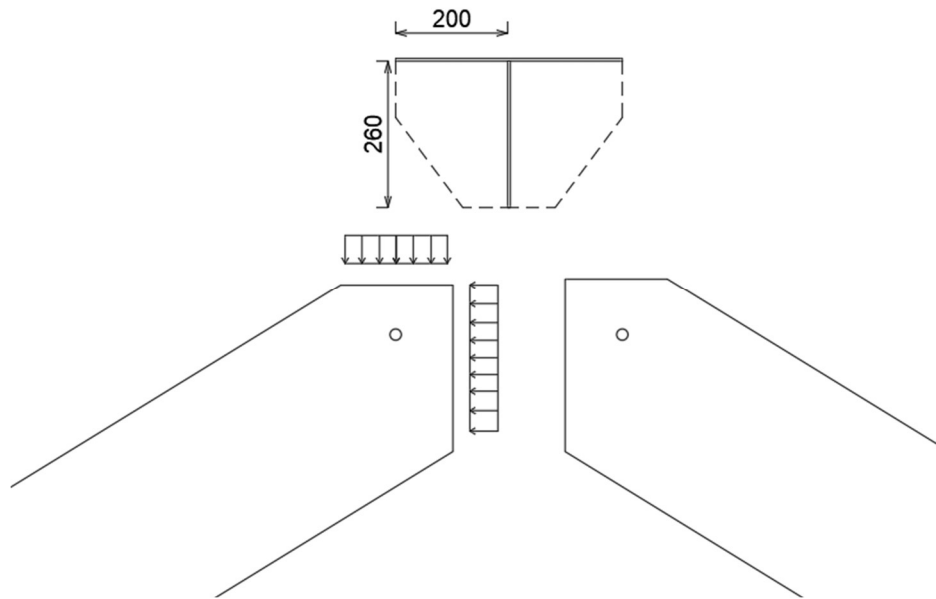


Figura 89: Pressioni agenti sulle superfici dei puntoni

#### COMPRESSIONE SUPERFICIE 1:

Si tiene conto del fatto che nella trave è presente una fresatura interna di 10 mm nella quale è alloggiata la piastra a scomparsa che collega i due puntoni. L'area di appoggio sulla quale si genera la pressione derivata dalla trave di colmo sarà dunque per il singolo puntone:

$$A_1 = (240 - 10) \cdot 200 = 46000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,\alpha 1,d} = \frac{V/2}{A_1} = \frac{180 \cdot 10^3}{46000} = 3,91 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = 1,5 \cdot \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 2,73 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 16 \text{ MPa}$$

La resistenza a compressione ortogonale alla fibra risulta dunque verificata tramite la disuguaglianza:

$$\begin{aligned}\sigma_{c,\alpha,d} = 3,91 \text{ MPa} &\leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{16}{\frac{16}{1,82} \cdot \sin^2(59) + \cos^2(59)} \\ &= 4,05 \text{ MPa}\end{aligned}$$

#### COMPRESSIONE SUPERFICIE 2:

Si tiene conto del fatto che nella trave è presente una fresatura interna di 10 mm nella quale è alloggiata la piastra a scomparsa che collega i due puntoni. L'area di appoggio sulla quale si genera la pressione tra i due puntoni sarà dunque:

$$A_2 = (240 - 10) \cdot 260 = 59800 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,\alpha 2,d} = \frac{F_{c,\alpha 2,d}}{A_2} = \frac{300 \cdot 10^3}{59800} = 5,02 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = 1,5 \cdot \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 2,73 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 16 \text{ MPa}$$

La resistenza a compressione ortogonale alla fibra risulta dunque verificata tramite la disuguaglianza:

$$\begin{aligned}\sigma_{c,\alpha 2,d} = 5,02 \text{ MPa} &\leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{16}{\frac{16}{1,82} \cdot \sin^2(31) + \cos^2(31)} \\ &= 5,21 \text{ MPa}\end{aligned}$$

### 5.3.3 Pilastrini

Per i pilastrini si è scelto di adottare una sezione quadrata in legno lamellare GL32h di sezione 24x24 cm.

Solo nei pilastrini su cui poggiano le capriate la sezione è stata appositamente aumentata e portata a 24x48 cm in modo da poter sostenere sia queste che le travi di bordo della copertura. L'alloggio per l'appoggio della capriata viene realizzato con uno scanso sulla testa di questi pilastrini che ne dimezzano la sezione per un tratto di 35 cm. La catena è costituita da due elementi lignei affiancati e imbullonati ai puntoni che vengono fatti sfilare lateralmente ai pilastrini vista la necessità di doverli prolungare per soddisfarne le verifiche. Nella parte più alta viene invece fatta sfilare la trave di bordo perpendicolare alla capriata, in questo modo tutti gli elementi del nodo vengono inseriti senza andare in conflitto tra loro.

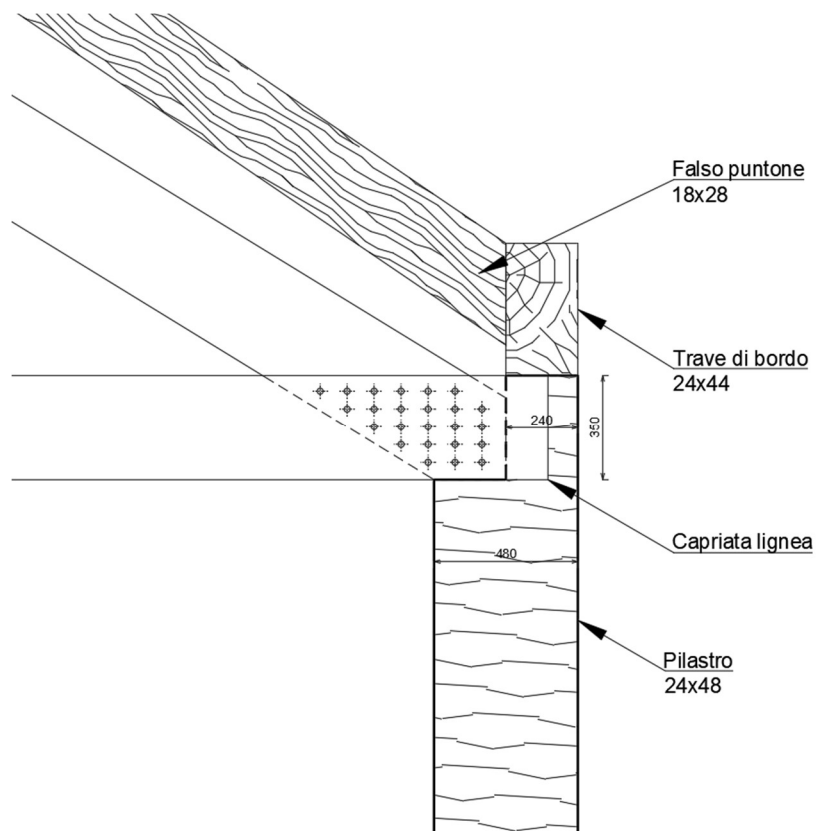


Figura 90: Dettaglio nodo pilastrino-capriata e pilastrino-travi di solaio

Alla base dei pilastri questi sono collegati all'impalcato del piano terra con dei portapilastrini a croce con una doppia lama che entra all'interno della sezione di base. Si tratta di giunzioni a scomparsa che sfruttano due lame disposte a croce che andranno inserite all'interno degli elementi verticali e che grazie alla loro resistenza a momento flettente creano l'incastro alla base in entrambe le direzioni.

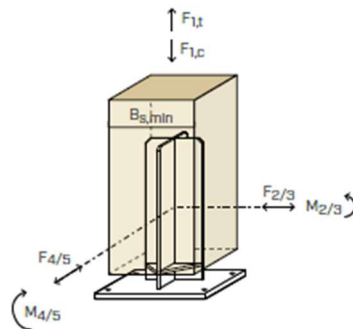


Figura 91: Dettaglio attacco dei pilastri alla base

Si riporta in seguito un'immagine rappresentativa di questi giunti.



Figura 92: Portapilastrini a lame incrociate per pilastri in legno lamellare

Per il montaggio verranno realizzati due tagli alla base del pilastro e una volta inserite le lame all'interno vengono bloccati con dei bulloni o delle apposite resine.

In ogni caso le azioni laterali agenti sulla struttura non saranno contrastate solo dagli incastri alla base dei pilastri ma verranno principalmente affidate a un sistema di controventamento di parete.

Si provvede ora a verificare le sezioni dei pilastri che si ritengono essere le più sollecitate in relazione ai carichi verticali agenti, alla loro sezione e alla loro lunghezza libera di inflessione.

La verifica viene svolta a titolo esemplificativo solo sul pilastro D2 in quanto si ritiene possa essere il più sollecitato avendo un'area di influenza in copertura maggiore e una lunghezza libera di inflessione più grande rispetto a quelli sottostanti la gronda.

La verifica viene soddisfatta dalla disequazione seguente:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$A = 240 \cdot 240 = 57600 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{360 \cdot 10^3 + 71,5 \cdot 10^3}{57600} = 7,17 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 16 \text{ MPa}$$

Per determinare il coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità della colonna  $k_{crit,c}$  ci si avvale del programma "All Wood Tools" che in funzione delle caratteristiche della sezione, del materiale e dei vincoli fornisce un valore

$$k_{crit,c} = 0,455$$

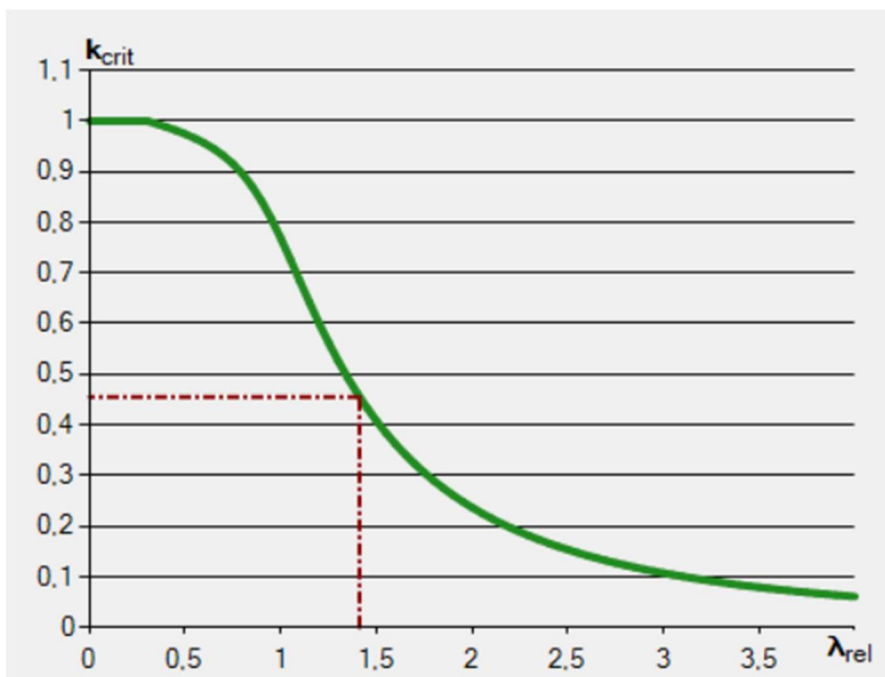


Figura 93: curva instabilità-k critica (coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità)

Si verifica dunque la disuguaglianza:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{crit,c} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{7,17}{0.455 \cdot 16} = 0,98 \leq 1$$

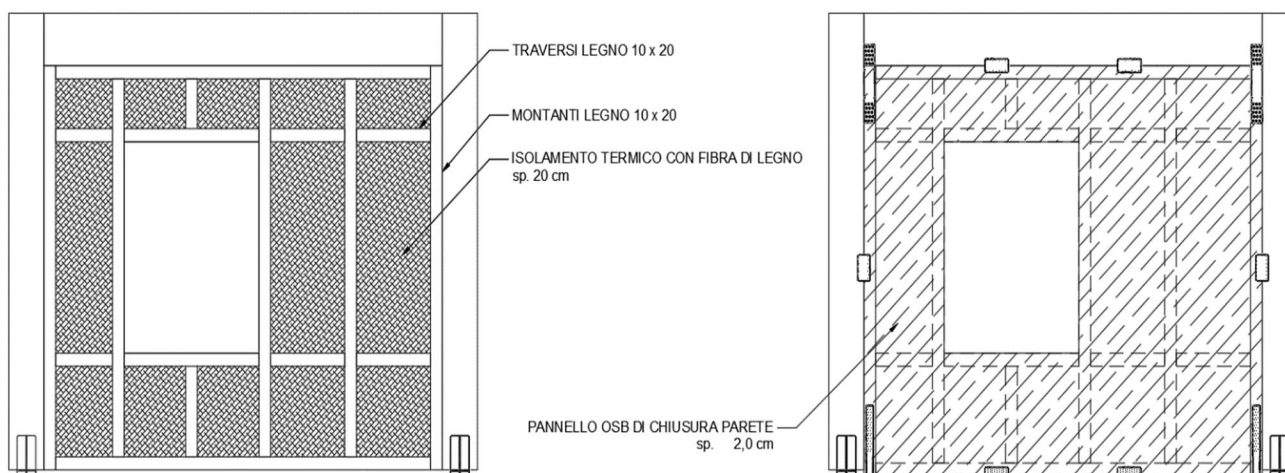
La verifica è stata svolta anche per altri pilastri ma viene omessa in quanto quella appena riportata è risultata la più onerosa e con un coefficiente di sfruttamento maggiore.



### 5.3.4 Pareti

Il tema delle pareti perimetrali rappresenta un punto di fondamentale importanza per il funzionamento dell'edificio, sia dal punto di vista strutturale che da quello energetico.

In accordo con quanto osservato nei casi degli altri rifugi analizzati in precedenza, si sceglie di utilizzare un sistema di pareti con pannelli "sandwich". A questi sistemi di tamponamento vengono affidati il compito di isolare termicamente l'edificio, oltre a quello di resistere alle forze orizzontali di sisma e vento. Sarà importante valutare a tal proposito i sistemi di connessione delle pareti al telaio strutturale e assicurare che queste riescano effettivamente a farsi carico delle sollecitazioni che vengono loro somministrate. Altro importante aspetto già citato precedentemente il quale viene soddisfatto da questa soluzione è quello della prefabbricazione: i pannelli possono essere realizzati in stabilimento già dotati dei fori per l'installazione di porte e finestre oltre che con la predisposizione per il passaggio degli impianti.



*Figura 94: Elemento tipo parete in pannelli sandwich coibentati*

La stratigrafia dei pannelli partendo dall'interno verso l'esterno è formata dal seguente pacchetto:

- Pannello OSB sp. 2 cm
- Struttura principale con traversi e montanti in legno massiccio 10x20 cm
- Fibra di legno da 20 cm
- Membrana traspirante
- Pannello OSB sp. 2 cm



*Figura 95: Spaccato di un elemento parete*

L'isolante, come mostrato in figura, viene inserito in spessore con la struttura portante e per eliminare completamente i tagli termici, infine, si aggiunge uno strato esterno di 5 cm che funge da cappotto termico. Il vantaggio di questa soluzione è anche quello di ridurre lo spessore del cappotto che in edifici posti in condizioni estreme diventerebbe eccessivo.

I pannelli vanno dunque inseriti a chiudere il telaio e in spessore con esso. L'ancoraggio alla struttura avviene per mezzo dei giunti tipici delle pareti x-lam o timber frame. Il fissaggio a terra viene realizzato con degli "hold-down" e degli angolari a taglio, quello agli elementi del telaio con piastre.

- **HOLD-DOWN:** sono degli angolari ideali per le giunzioni a trazione su pareti in legno. Vengono realizzati con una base rinforzata e con uno spessore consistente in grado di garantire buone resistenze a trazione e per forze fuori dal piano. Vengono solitamente posizionati alle estremità della parete in modo tale da avere il maggior braccio resistente per contrastare i momenti agenti nel piano della parete.



*Figura 96: elementi hold-down di fissaggio pareti a terra*

- **ANGOLARI A TAGLIO:** angolari che servono ad assorbire principalmente gli sforzi di taglio che si hanno tra la parete e il supporto sottostante. Vengono disposti solitamente nella zona centrale della parete in cui non ci sono gli hold-down e fissati con delle viti o dei bulloni.



*Figura 97: elementi angolari di ancoraggio pareti a terra per azioni di taglio*

- **PIASTRE PER FORZE DI TRAZIONE:** hanno la stessa funzione degli hold-down e come questi vengono posizionate in vicina corrispondenza degli angoli del pannello. A differenza dei primi però il profilo non è un angolare in quanto si utilizzano per collegamenti legno-legno in spessore col pannello come mostrato nella figura seguente.



*Figura 98: elementi a piastra per ancoraggio pareti resistenti a forze di trazione*

- **PIASTRE PER FORZE DI TAGLIO:** analogamente a quelle per le forze di trazione anche queste vengono utilizzate per collegamenti legno-legno in piano. Vengono solitamente posizionate lontano dagli angoli del pannello per realizzare collegamenti resistenti a taglio tra questo e la struttura portante.

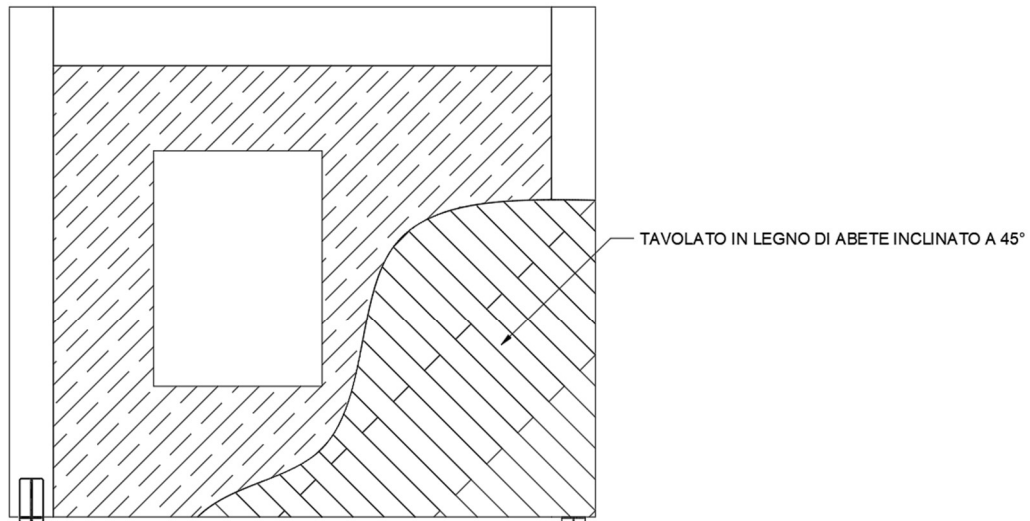


*Figura 99: elementi a piastra per ancoraggio pareti resistenti a forze di taglio*

Al fine di contrastare le azioni orizzontali di sisma e vento si deve inoltre assicurare al fabbricato una sufficiente capacità di resistervi. La rigidezza delle pareti di questo tipo non è normata in quanto dipende dal modo in cui queste vengono realizzate, dalle dimensioni di traversi e montanti, dalle aperture che si devono realizzare, dalle connessioni e dal pannello di chiusura utilizzato. Le aziende produttrici normalmente si riferiscono nella determinazione delle caratteristiche meccaniche di questi elementi a prove sperimentali condotte all'interno dei propri stabilimenti.

Il controventamento, nel caso in esame, viene fornito dalle pareti perimetrali e in particolar modo dai pannelli OSB di chiusura che vengono ancorati al telaio in legno tramite gli elementi di fissaggio descritti. Nel caso in cui si voglia incrementare e assicurare ulteriormente che la controventatura verticale sia sufficiente, si sceglie di applicare sia esternamente che internamente all'edificio, un tavolato in abete disposto a 45° e fissato sia ai

pannelli che su travi e pilastri della struttura portante. In questo modo si migliora sia la rigidità dei controventi che la connessione tra telaio e parete.



*Figura 100: dettaglio tavolato di controventamento pareti in legno di abete inclinato a 45°*

Infine, per eliminare completamente la presenza di ponti termici che si andrebbero a creare nelle zone di giunzione o in corrispondenza degli elementi portanti del telaio, si applicano esternamente 5 cm di cappotto. Il materiale utilizzato per questo strato sarà sempre la fibra di legno che avvolgerà l'intera struttura e su cui verrà posto un pannello OSB di chiusura.

A completare la stratigrafia delle pareti, ma anche della copertura, la finitura esterna sarà realizzata con una lamiera metallica che rivestirà l'intero involucro e che proteggerà tutti gli elementi lignei dalle intemperie che andrebbero altrimenti inevitabilmente a degradarli. Questo mantello protettivo viene collegato alla struttura lasciando un'intercapedine di 4 cm

tra la parete e la lamiera. Per l'ancoraggio verranno fissati sull'involucro dei morali che costituiranno un telaio di supporto esterno e sui quali viene collegata la lamiera di protezione. Il fatto di lasciare un passaggio d'aria tra gli elementi in legno e l'involucro metallico è di fondamentale importanza in quanto nelle realizzazioni in legno questo materiale deve essere in grado di traspirare per evitare fenomeni di condensa che ne porterebbero col tempo alla marcescenza.



### 5.3.5 Controventi metallici

Una riflessione viene fatta nei confronti dei prospetti sud-est e sud-ovest dell'edificio, in quanto la presenza delle grandi vetrate impedisce di controventare queste facciate con i pannelli e il tavolato descritti in precedenza.

Per evitare il generarsi di momenti torcenti dovuti alla dislocazione del centro di rigidità rispetto al baricentro dell'edificio, si interviene per aumentare la resistenza alle azioni laterali anche in queste facce della struttura.

In considerazione al fatto che altri rifugi analizzati in precedenza, come ad esempio il Gonella, presentavano lo stesso tipo di problema si decide di utilizzare lo stesso metodo per controventare le facciate vetrate. Questa soluzione è stata reputata conveniente perché nonostante rimanga a vista, non risulta troppo invasiva e non va a compromettere eccessivamente la vista che dall'interno della zona ristorante si avrà sul paesaggio circostante, aspetto fondamentale in costruzioni di questo genere.



*Figura 101: esempio di utilizzo controventi metallici per irrigidire facciate vetrate nel Rifugio Gonella*

---

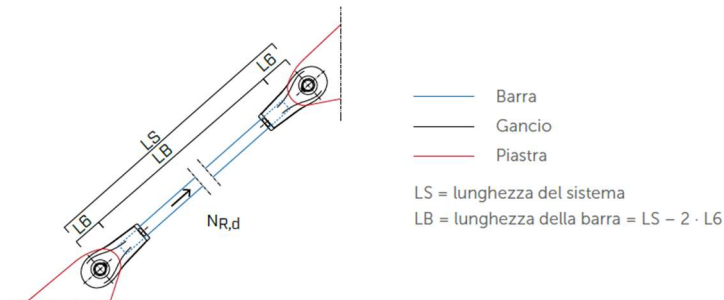
<sup>94</sup> <https://living.corriere.it/architettura/gallery/rifugi-piemonte-trentino-foto/>

Si pongono dunque all'interno dell'involucro dei controventi metallici collegati al telaio tramite delle staffe. Questi saranno dimensionati per equilibrare almeno in parte le rigidità delle pareti situate nel lato opposto della struttura e spostare dunque verso di loro il centro di rigidità. Verranno realizzati con delle barre in acciaio opportunamente messe in tiro tramite appositi tenditori dinamometrici, i quali fanno in modo che il controvento sia efficace già per piccoli spostamenti della struttura.

Vengono di seguito ripostati i valori di resistenza a trazione delle componenti secondarie che si intendono utilizzare per realizzare il controvento:

#### ■ VALORI STATICI - RESISTENZA A TRAZIONE

$N_{R,d}$  PER DIVERSE COMBINAZIONI BARRA - GANCIO - DISCO - PIASTRA DI COLLEGAMENTO



gancio per controventi Rothoblaas	disco per controventi Rothoblaas	acciaio barra $f_{y,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	acciaio piastra di collegamento *	$N_{R,d}$ [kN]					
				M10	M12	M16	M20	M24	M30
GJS-400-18-LT	S355	≥ 540	S355	30,1	43,7	81,4	127,0	183,0	290,8
		≥ 540	S235	25,6	38,5	76,9	110,5	147,3	230,1
		≥ 355	S235	19,6	28,5	53,1	82,9	119,5	189,8
		≥ 235	S235	15,0	21,9	40,7	63,5	91,5	144,6

95

Figura 102: estratto catalogo Rothoblaas (resistenza a trazione elementi per controventi metallici)

<sup>95</sup> <https://www.rothoblaas.it/prodotti/fissaggio/piastre-e-connettori/controventi>

## Tensioner:

### ■ VALORI STATICI - RESISTENZA A TRAZIONE



		M12	M16	M20	M24	M27	M30
$N_{ax,k}$	[kN]	66,20	97,38	119,09	184,69	184,69	245,92

$N_{ax,k}$  sono valori caratteristici secondo normativa EN 1993.

I valori di progetto si ricavano dai valori caratteristici come segue:  $N_{ax,d} = N_{ax,k} / \gamma_{M0}$

96

*Figura 103: estratto catalogo Rothoblaas (resistenza a trazione tensionatori per controventi metallici)*

---

<sup>96</sup> <https://www.rothoblaas.it/prodotti/fissaggio/piastre-e-connettori/controventi>

### 5.3.6 Fondazioni

La funzione fondamentale a cui deve assolvere l'apparato di fondazione di un edificio consiste nel garantire stabilità, rigidità e resistenza alla struttura sovrastante, oltre a trasmettere i carichi verticali e orizzontali al terreno costituendo una solida base d'appoggio.

La scelta della tipologia di fondazioni da utilizzare dipende solitamente dalla tipologia di suolo e dalla sua capacità portante: si utilizzano solitamente fondazioni superficiali in calcestruzzo come plinti, travi rovesce o platee dove il terreno superficiale si presta a sostenere il peso della costruzione senza subire eccessive deformazioni. Le fondazioni profonde invece, più costose rispetto alle prime, si prediligono in terreni in cui gli strati superficiali presentano caratteristiche meccaniche di resistenza a compressione più esigue e non siano dunque adatti a sostenere il peso dell'edificio senza incorrere in cedimenti significativi. Questi strati vengono quindi oltrepassati con dei pali per arrivare ad appoggiare la struttura su una base solida che solitamente si trova a profondità più elevate.

Altro aspetto importante da considerare per la progettazione delle fondazioni di strutture lignee è l'attacco degli elementi in legno alla base. Questo rappresenta una delle maggiori criticità e deve essere accuratamente pensato al fine di evitare la risalita capillare e il ristagno dell'acqua che causerebbe il decadimento delle prestazioni del materiale. Devono essere previsti infatti sistemi che permettano di isolare gli elementi lignei da eventuale acqua di risalita o condensa per evitare problemi di durabilità alla struttura come quelli documentati nelle immagini seguenti.<sup>97</sup>

---

<sup>97</sup> <https://www.ingenio-web.it/articoli/fondazioni-a-secco-per-edifici-in-legno/>



*Figura 104: problemi di marcescenza alla base per errata posa dei materiali*

È inoltre necessario porre particolare attenzione alle tolleranze di posa degli elementi di fondazione creando un piano perfettamente livellato inserendo se necessario degli spessori a cui segue un getto di malta di livellamento.

Oltre a questi fattori però, anche gli obiettivi del progetto influenzano la scelta dei materiali e la tipologia costruttiva da adottare per soddisfare requisiti come adattabilità e sostenibilità. Se nei primi rifugi sorti ad alta quota il basamento era realizzato a secco con pietre reperite nelle vicinanze, l'avvento dell'elicottero ha reso applicabile anche in contesti come quello dell'alta montagna, e sempre più diffusa la scelta del calcestruzzo armato. Questa rappresenta la soluzione più utilizzata su larga scala in quanto assicura rigidità, resistenza meccanica e affidabilità, oltre a garantire tramite un adeguato copriferro, la protezione delle armature dagli agenti chimici e dai fenomeni di degrado. Purtroppo, però, questo materiale non eccelle dal punto di vista della sostenibilità ambientale, il quale è uno dei temi fondamentali di questa realizzazione. Si è parlato infatti di reversibilità delle opere realizzate in contesti paesaggistici incontaminati e protetti prediligendo in questi casi, delle tipologie costruttive che eventualmente permettano la loro completa rimozione in futuro. A tal proposito la realizzazione di una fondazione superficiale in calcestruzzo armato è destinata, al termine della sua vita utile, alla rimozione e allo smaltimento. Proprio queste operazioni

e in particolar modo il fatto di doverle svolgere ad alta quota risultando più difficoltose, rendendo questo materiale poco adatto allo scopo e portano a prediligere, se possibile, soluzioni alternative.

Una valida possibilità che ha preso piede negli ultimi anni è quella di realizzare fondazioni a secco mediante la creazione di un piano rigido posto al livello del terreno o di poco sopraelevato. Questo può essere realizzato tramite l'unione di travi in legno o acciaio che collegate da saldature e bullonature formano un graticcio su cui far giacere il solaio del piano terra. Al termine del suo utilizzo, in futuro, anche il basamento potrà eventualmente essere facilmente smontato e rimosso soddisfacendo a pieno il tema della sostenibilità.

Si valutano le possibili soluzioni da poter applicare per la realizzazione delle fondazioni di questa costruzione. In base alla stratigrafia del suolo si considerano più opzioni: la prima da applicare nel caso in cui lo strato di terreno abbia una profondità adeguata all'inserimento di piccoli pali, la seconda e la terza (più accreditate per il caso in esame) ipotizzando che la roccia compatta del massiccio montuoso si trovi a profondità molto basse o che addirittura affiori spontaneamente in alcuni punti.



### 5.3.6.1 PALI IN ACCIAIO A ELICA

Alla luce delle esigenze specifiche del progetto di voler fornire adattabilità e sostenibilità al sistema di fondazione si valuta la possibilità di utilizzare pali in acciaio ad elica per sostenere e ancorare l'edificio al terreno su cui verrà realizzato. Questi pali si comportano come delle viti metalliche infisse nel terreno, svolgendo all'occorrenza sia la funzione di puntone che di tirante. Hanno però la limitazione di non poter essere applicati su un substrato roccioso, si prestano bene quindi nel caso in cui la roccia sia ad una adeguata profondità e lo strato superficiale consenta loro una sufficiente lunghezza di infissione.

Sempre rivolgendosi al tema della sostenibilità ambientale questo tipo di sostegno è quanto più possibile eco-friendly essendo sufficiente svitare i pali per rimuoverli dal terreno e lasciare l'ambiente completamente privo di opere artificiali sia in superficie che nel sottosuolo.



*Figura 105: palo in acciaio a elica per fondazioni*



Si tratta di elementi con un corpo di piccolo diametro che vengono avvitati per rotazione mediante l'utilizzo di macchine operatrici compatte su cui si installano dei motori idraulici. L'infissione avviene in modo piuttosto veloce e senza estrazione di terreno: altro aspetto importante per assicurare che la realizzazione avvenga nei tempi brevi della corta stagione estiva.



*Figura 106: posa di pali trivellati a elica con macchine operatrici*

Ulteriore punto a favore della soluzione in esame è la leggerezza degli elementi che si andrebbero ad utilizzare e la facilità di trasporto in situ. Come già specificato in precedenza infatti, il fatto che la zona in cui verrà eretto il fabbricato non sia raggiungibile da mezzi pesanti implica di dover utilizzare elementi costruttivi e macchine operatrici leggere che possano essere trasportati in loco con l'impianto a fune o con elicottero.

Il corpo di questi pali presenta solitamente un diametro di 76 mm in acciaio armato su cui sporgono le eliche che possono avere varie forme e passi a seconda del tipo di terreno.

La fondazione che verrebbe dunque realizzata sarebbe posta in opera a secco o al massimo, come nel caso del rifugio Gonella, con l'ausilio di piccoli plinti in calcestruzzo risposti sopra la palificata in corrispondenza dei quali poggeranno elementi orizzontali in acciaio quali travi HEA e piastre che sosterranno l'impalcato del solaio posto a quota del terreno. Si mira a realizzare quindi un piano d'appoggio rigido e ben ancorato al suolo.

La superficie su cui si intende collocare la costruzione si presenta pressoché pianeggiante ma il piano di posa deve essere livellato con elevata precisione. A tal fine si prevede l'inserimento di elementi a piastra che possano essere calibrati in altezza e inclinazione mediante l'utilizzo di dadi e controdadi di regolazione. Come detto in precedenza infatti, l'utilizzo di strutture a secco con elementi prefabbricati, comporta di dover porre particolare attenzione ed elevata precisione nella messa in opera della struttura, soprattutto alla base.

### 5.3.6.2 FONDAZIONE SUPERFICIALE CON GABBIONI

Verosimilmente a quanto osservato nel sopralluogo effettuato in situ, si suppone che lo strato di terreno che riveste il sottofondo roccioso abbia uno spessore piuttosto sottile (inferiore a 1 metro) e che sia quindi opportuno sfruttare le elevate prestazioni meccaniche della roccia madre andando ad appoggiarvi una fondazione superficiale in modo diretto. Una volta rimossa la parte superiore del terreno con un escavatore e messa a nudo la roccia sottostante si fa riferimento ad un articolo intitolato “Fondazioni a secco per edifici in legno”, che basandosi su un lavoro di ricerca svolto dall’Università di Trento, dal CNR-IBE oltre a un TAB europeo e 3 professionisti del settore, propone il seguente kit ideato e testato appositamente per edifici in legno.

L’elemento utilizzato alla base per la realizzazione della fondazione è il gabbione in rete elettrosaldata riempito di pietrame. Le dimensioni alla base sono di 1m per 2 m e un’altezza di 0,5 m, misure che ipoteticamente si possono ben adattare al progetto che si sta sviluppando.<sup>98</sup>

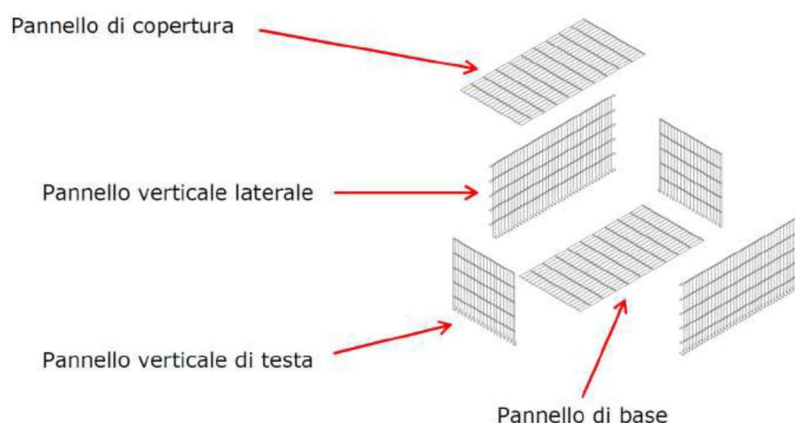


Figura 107: gabbioni in rete metallica per fondazioni a secco

<sup>98</sup> <https://www.ingenio-web.it/pdfs/fondazioni-a-secco-per-edifici-in-legno.pdf>

Questi dispositivi che vengono solitamente impiegati per opere strutturali come il sostegno di versanti o argini, vengono in questo caso usati per creare una base di appoggio tra la struttura e la roccia permettendo oltretutto all'acqua di defluire senza creare ristagno che potrebbe finire a contatto con il legno. Per rendere il gabbione idoneo ad assolvere alla nuova finalità vengono apportate alcune modifiche annegando il pannello di chiusura superiore in una trave in calcestruzzo armato lunga 1,5 m, larga 0,5 m e alta 0,15 m che permette l'appoggio della struttura sovrastante e che contribuisce a distribuire uniformemente il carico al materiale lapideo di riempimento.<sup>99</sup>



*Figura 108: rete di chiusura annegata in travi prefabbricate in calcestruzzo*

---

<sup>99</sup> <https://www.ingenio-web.it/pdfs/fondazioni-a-secco-per-edifici-in-legno.pdf>



*Figura 109: assemblaggio gabbione*

Come mostrato in figura 94, dopo essere stato assemblato il gabbione ed essere stati posizionati i tiranti interni, vanno inseriti dei tirafondi in acciaio zincato fissati sul fondo, i quali dopo il riempimento con i sassi andranno infilati nei fori della trave in C.A. per collegare il tutto in modo più compatto.<sup>100</sup>

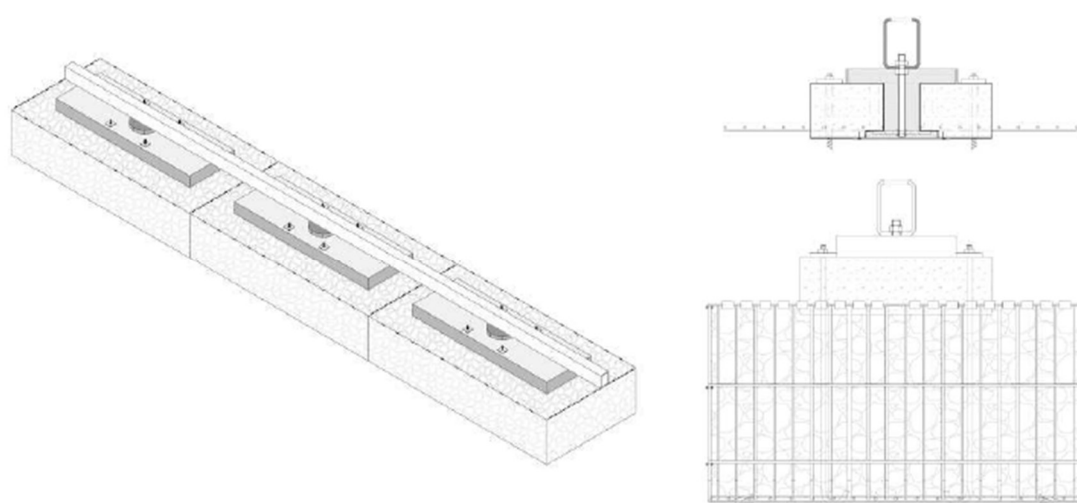
Il materiale che si usa per il riempimento viene definito secondo le norme UNI EN 13242:2008 ed UNI EN 13383-1:2002/AC:2004 e fatto vibrare per ridurre al minimo i vuoti. Una volta completati questi passaggi e assemblato anche il pannello di copertura, collegato ai tirafondi, il prodotto è pronto per essere movimentato e posto in opera.

Il sistema di fondazione a secco deve ora essere posto in continuità sotto le strutture portanti e adagiato sopra un getto di magrone opportunamente impermeabilizzato. Nella zona interna ai gabbioni viene realizzato un vespaio aerato, mentre all'esterno si realizzano trincee drenanti con pietra e tubi drenanti

---

<sup>100</sup> <https://www.ingenio-web.it/pdfs/fondazioni-a-secco-per-edifici-in-legno.pdf>

che possono contribuire a raccogliere l'acqua nelle vasche di accumulo. L'elemento di connessione tra la struttura in legno e la fondazione a secco è costituito da un profilo in acciaio che va fissato sopra alle travi in calcestruzzo prefabbricate con degli elementi a "cerniera", i quali permettono di correggere durante la posa eventuali errori sia altimetrici che nel piano muovendo le barre filettate e regolando dado e controdado. Una volta installate e collegate tra loro tutte le travi in acciaio, i fori nei quali passano le barre filettate vanno riempiti di malta cementizia a presa rapida e ad alte prestazioni fino ad arrivare al livello della putrella. <sup>101</sup>



*Figura 110: Getto di malta cementizia a presa rapida ed alta prestazione*

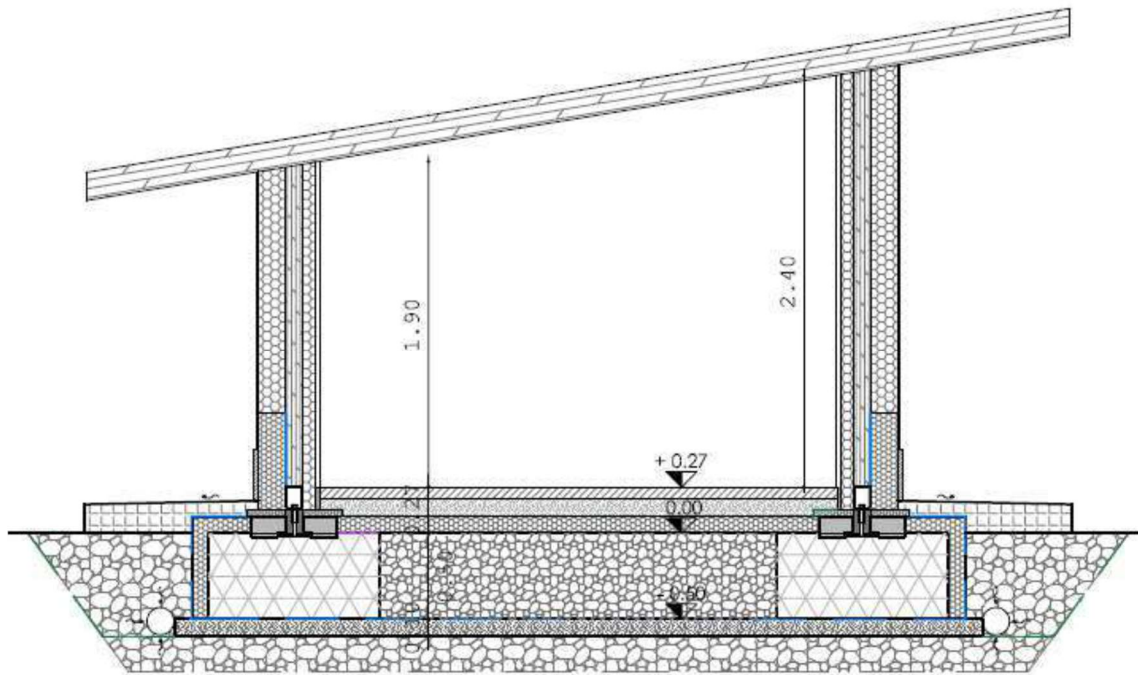
La struttura lignea va ora fissata al di sopra dei profili in acciaio tramite i sistemi di collegamento previsti in precedenza per l'attacco di pilastri e pareti in fondazione. All'interno la parete perimetrale va isolata partendo dall'estradosso della fondazione a secco, va posato un isolante ad alta densità sopra al vespaio aerato tipo Stirodur, il massetto per gli impianti ed il pavimento. <sup>102</sup>

---

<sup>101</sup> <https://www.ingenio-web.it/pdfs/fondazioni-a-secco-per-edifici-in-legno.pdf>

<sup>102</sup> <https://www.ingenio-web.it/pdfs/fondazioni-a-secco-per-edifici-in-legno.pdf>





*Figura 111: Sezione tipo di fondazione a secco realizzata con gabbioni*



### 5.3.6.3 *ANCORAGGIO DIRETTO SU ROCCIA*

La terza possibilità, quella che stando alle ipotesi fatte sulla tipologia di sottosuolo meglio si sposa alle caratteristiche geotecniche e stratigrafiche di questo, consiste nell'ancorare in modo diretto la fondazione d'acciaio sulla roccia madre. Si sfrutta in questo modo l'elevata capacità portante dell'ammasso roccioso riducendo al minimo l'ingombro, il peso e il numero di elementi necessari a realizzare il basamento della struttura. La soluzione pensata in questo capitolo soddisfa a pieno, infatti, sia le caratteristiche di reversibilità, in quanto gli elementi possono essere facilmente rimossi in futuro, sia quelle di leggerezza e velocità di posa. Come spiegato nei capitoli precedenti, queste sono caratteristiche fondamentali in cantieri ad alta quota dove il clima rigido per gran parte dell'anno, le difficoltà di movimentazione dei carichi e di trasporto in situ sono considerati fattori limitanti per la realizzazione dell'opera.

Entrando nel dettaglio della progettazione, la difficoltà principale risulta essere quella di creare un piano rigido perfettamente pianeggiante correggendo le variazioni plano-altimetriche del suolo su cui questo deve essere adagiato. La roccia non può infatti essere facilmente scassata e livellata con le macchine operatrici di modesta dimensione che verranno portate in quota. Oltre a questo, anche il fatto che per le richieste del progetto non prevedano l'utilizzo massiccio del calcestruzzo come si usa fare normalmente nelle opere di fondazione, implica un'ulteriore difficoltà nella correzione dei dislivelli durante la posa.

La soluzione che si ritiene più consona prevede il posizionamento di elementi in acciaio con profilo tubolare o HEA disposti in verticale ad interasse fisso sotto le travi principali dell'impalcato e saldati su entrambi i lati a delle piastre. Il collegamento, come è usuale fare, viene accompagnato con dei fazzoletti di irrigidimento saldati. L'altezza che questi elementi dovranno avere (presumibilmente inferiore al metro su tutto il piano) viene stabilita una volta messa a nudo la roccia e misurata punto per punto in relazione alla profondità a

cui devono arrivare. Si vanno a dimensionare quindi quelli che hanno le sembianze e la funzione di piccoli pilastri tozzi in acciaio e che, come tali, vengono trattati e posati in opera: si prevede di collocare dei tirafondi filettati affissi nella roccia e bloccati tramite ancorante chimico, su questi si posiziona la piastra di base la cui posizione plano-altimetrica viene corretta con precisione tramite la regolazione di appositi dadi e controdadi. Tutto il nodo alla base di questi elementi viene infine bloccato e consolidato con l'applicazione di una malta cementizia espansiva, applicabile mediante colaggio per spessori centimetrici tra piastra e basamento roccioso.

Sulla piastra superiore vengono poi fissate le travi HEA principali dell'impalcato su cui si appoggerà tutta la struttura.

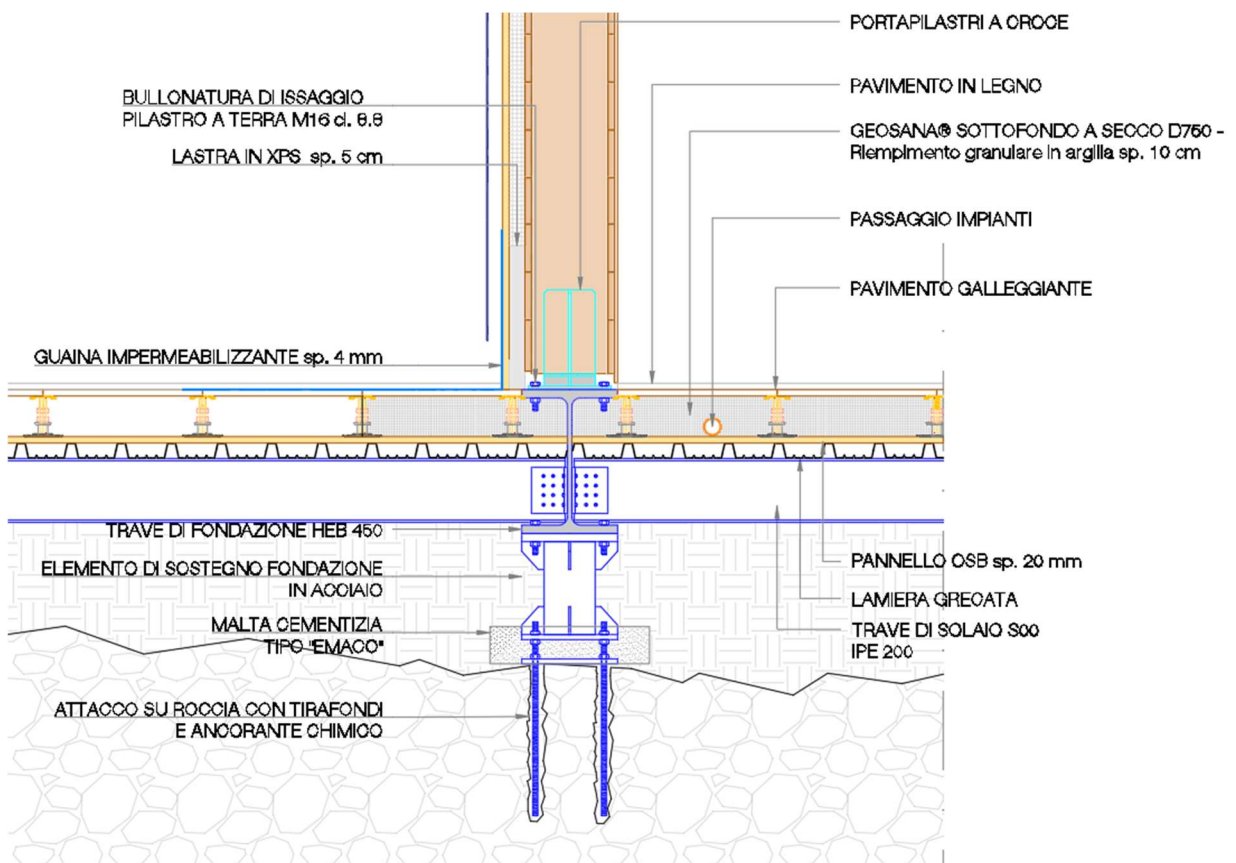


Figura 112: Sezione tipo di fondazione a secco realizzata elementi puntuali in acciaio

## 6 Dotazioni tecnologiche e sostenibilità energetica

Per ridurre l'impatto ambientale che un nuovo fabbricato può avere in una zona naturale e protetta come quella di un parco naturale vanno adottate tecnologie innovative e applicate strategie per fronteggiare questo problema. La sostenibilità si è vista essere infatti uno dei principi fondamentali per l'architettura ad alta quota che deve inserirsi nell'ambiente circostante senza comprometterne troppo gli equilibri, sfruttando quindi le risorse naturali che vengono offerte.

A tal proposito si elencano e si giustificano gli accorgimenti adottati per rendere ecosostenibile e biocompatibile la nuova costruzione.

### 6.1 Isolamento termico

Isolare a livello termico un edificio significa intervenire attivamente nel suo efficientamento energetico, riducendo di riflesso la tendenza emissiva dell'edificio stesso. L'isolamento termico ottenuto con materiali naturali e innovativi rappresenta quindi una svolta culturale in un settore come quello dell'edilizia che fatica ad affrontare i temi legati alla sostenibilità ambientale e all'impatto energetico del costruire. Progettare un isolamento termico adeguato rappresenta quindi il primo step da affrontare per conferire comfort ed ecosostenibilità alla struttura oltre che a ridurre i consumi di energia e di conseguenza il fabbisogno di quella necessaria a renderne confortevole l'ambiente interno.

Per ottenere condizione di comfort e vivibilità è necessario individuare e selezionare materiali che sfruttino con la massima efficienza la funzione naturale dell'aria confinata, ovvero le sue proprietà isolanti che ne fanno un materiale a bassa conducibilità termica e limitata tendenza di trasferire calore. Solo i materiali ad elevata porosità possono svolgere questa funzione di inglobamento e confinamento dell'aria.

La realizzazione di un isolamento termico efficace, possibilmente con materiali naturali, consente di gestire la quantità di calore in entrata e in uscita dall'edificio, questo si traduce nel fatto di far lavorare meno il sistema di climatizzazione o di riscaldamento per mantenere l'equilibrio termico, riducendo i costi energetici. Una struttura ben isolata, infatti, offre una temperatura equilibrata e confortevole, sia in inverno che in estate, incrementando la durevolezza dell'immobile.

L'adozione di una cultura green dell'isolamento termico rappresenta un passo importante verso la creazione di edifici più sostenibili e a ridotto impatto ambientale. In questo modo, è possibile contribuire alla lotta contro i cambiamenti climatici e alla creazione di un mondo più verde e sostenibile.<sup>103</sup>

Per isolare termicamente il rifugio si è scelto di utilizzare all'interno delle pareti intelaiate uno spessore pari a 22 cm di fibra di legno, lo stesso tipo di pannello isolante verrà impiegato nella realizzazione del cappotto esterno che con uno spessore di 5 cm servirà a eliminare i ponti termici che altrimenti andrebbero a crearsi, e nella zona di copertura disposto sopra all'assito con uno spessore di 25 cm.

La fibra di legno è un prodotto di origine naturale. Viene spesso utilizzato come isolante termico e acustico nelle case in legno costruite in bioedilizia perché è resistente, salubre ed ecosostenibile. Si tratta di un materiale prodotto a partire dalla lavorazione di legname scarto; quindi, è un materiale largamente disponibile e riciclato, in questo modo la sua produzione non va ad incidere in modo diretto sull'ambiente. Anche i costi di produzione sono limitati, così come i consumi energetici e idrici legati alla sua lavorazione. Oltre che come isolante termico ha buone caratteristiche anche come isolante acustico e può quindi

---

<sup>103</sup> <https://www.diasen.com/isolamento-termico-bioedilizia/>

essere utilizzato oltre che nella coibentazione di pareti esterne e tetto, anche per le partizioni interne della struttura. si tratta quindi di un materiale piuttosto versatile che si sposa bene con le esigenze del progetto e i quali pannelli vengono spesso venduti con profili a “incastro” per poter aderire perfettamente l’uno all’altro ed evitare in questo modo fastidiosi ponti termici che potrebbero crearsi.<sup>104</sup>

Poiché la fibra di legno presenta un’ottima conducibilità termica, impedisce qualsiasi dispersione di calore verso l’esterno mantenendo la temperatura interna sempre confortevole anche in condizioni esterne piuttosto fredde. Oltre a questa caratteristica anche il fatto che presenti un ottimo valore di sfasamento e di immagazzinamento termico la rende ideale all’interno di elementi strutturali che di per sé non possiedono queste peculiarità. Gli edifici in legno infatti essendo dotati di una massa più esigua rispetto a quelli tradizionali in muratura, non presentano buone caratteristiche di sfasamento termico in genere, fattore che può essere tamponato con l’utilizzo di un coibente denso e con un elevato calore specifico, in grado cioè di accumulare e trattenere l’energia termica prodotta dalle radiazioni solari durante il giorno per poi rilasciarla gradualmente nelle ore notturne più fredde. Il risultato finale si presenta come un edificio che rimane più fresco nelle ore calde estive e più temperato anche nelle ore in cui il sole cala.<sup>105</sup>

Lo sfasamento in genere indica il quantitativo in ore di cui viene ritardato il passaggio di calore alle temperature massime. L’attenuazione dell’ampiezza indica invece il rapporto tra la fluttuazione di temperatura interna ed esterna all’edificio nelle ore più calde o fredde della giornata. Se ad esempio la temperatura esterna varia tra gli 0°C e i 30°C, mentre quella interna sta tra i 18°C e i 21°C, la fluttuazione della temperatura esterna è di 30K mentre di

---

<sup>104</sup> <https://www.fibradilegno.com/sfasamento-termico-fibra-di-legno.html>

<sup>105</sup> <https://www.costruirebio.it/isolamento-fibra-di-legno>

quella interna è di solamente 3K. L'attenuazione dell'ampiezza sarà dunque pari a 10: in altre parole la fluttuazione termica interna viene attutita a un decimo rispetto a quella esterna.<sup>106</sup>

Nello sfasamento invece si persegue l'obiettivo di avere la massima temperatura raggiunta all'interno della struttura quando l'ambiente esterno si è già raffrescato e viceversa, in modo da poter in ogni caso intervenire attraverso una buona aerazione degli ambienti. Viene riportato in figura seguente l'effetto dello sfasamento termico sulla temperatura interna di un edificio adeguatamente coibentato. In questi grafici si è supposta una temperatura massima esterna alle ore 14.00 di 35°C e una minima alle 2.00 di notte con 15°C ma lo stesso concetto è applicabile anche con condizioni ambientali diverse. Si noti che oltre ad abbattere l'ampiezza della sinusoide, l'isolamento porta a raggiungere i picchi di temperatura interni in orari in cui esternamente questi sono già stati superati contribuendo in questo modo a non risentirne in modo elevato come accadrebbe se si avessero in contemporanea. Lo scopo deve essere quello di mirare a uno sfasamento termico di almeno 10 ore, in questo modo da avere una sensibile percezione di questa proprietà.<sup>107</sup>

Altro fattore che ha portato a scegliere questo isolante è legato alle sue proprietà igroscopiche: è in grado di assorbire l'umidità presente nell'aria ed è particolarmente permeabile al vapore. Queste caratteristiche fanno in modo che sulle pareti non si formino dunque condensa o aree umide che favorirebbero la comparsa di muffa e che nel caso di pareti lignee potrebbero portare alla marcescenza degli elementi che le costituiscono. Di particolare importanza è infatti il controllo della traspirabilità quando si realizzano strutture in legno in quanto la formazione di umidità può comportare un veloce degrado del legno. A tal proposito nei pannelli in fibra di legno il livello di traspirabilità è molto buono

---

<sup>106</sup> <https://www.fibradilegno.com/sfasamento-termico-fibra-di-legno.html>

<sup>107</sup> <https://www.fibradilegno.com/sfasamento-termico-fibra-di-legno.html>

anche se varia in funzione della densità. In ogni caso rimane un ottimo per rendere una casa in legno ancor più traspirante.

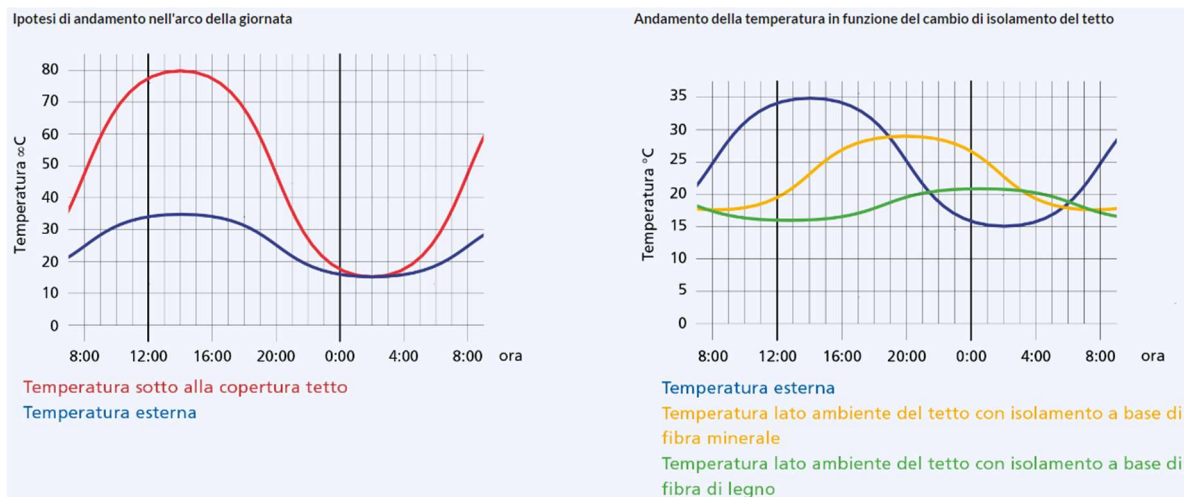


Figura 113: grafici tempo-temperature interna ed esterna all'edificio

Per ottimizzare la funzionalità delle pareti si sceglie di usare due tipologie di fibra di legno diverse: all'interno dei pannelli sandwich si preferisce un materiale con densità maggiore che conferisca più massa ai muri e che incrementi così lo sfasamento termico di cui si è parlato. Nella realizzazione del cappotto esterno si predilige una fibra di legno con minor densità e quindi con un maggior potere isolante: questa caratteristica andrà bene per coprire efficacemente i ponti termici anche con uno spessore di coibente ridotto. Anche in copertura si può applicare lo stesso principio utilizzando due strati sovrapposti di fibra di legno: 20 cm ad alta densità e 5 cm posti superiormente di quella a densità minore.



## 6.2 Serra solare

Particolare cura verrà fornita anche nella scelta degli infissi e delle vetrate, a maggior ragione essendo che queste costituiscono una buona parte della superficie verticale esterna della struttura. Da tempo il vetro è stato chiamato infatti a fornire il proprio contributo in merito ai consumi energetici dell'edificio agendo attivamente sia sul raffrescamento che sul riscaldamento dei locali. Grazie a prodotti performanti e progettazioni più accurate, in tempi moderni si è ridotta notevolmente la dispersione di energia termica attraverso le aperture presenti nell'involucro.<sup>108</sup>

Nella progettazione del rifugio è stata fatta la scelta di realizzare tutta la parete sud-est e il piano terra di quella sud-ovest in vetro, oltre che per valorizzare la vista del paesaggio circostante dalla sala da pranzo, anche per sfruttare l'irraggiamento che nelle ore più calde della giornata andrà a colpire queste vetrate. Questa accortezza è stata quindi oltre che estetica, anche tecnica e atta a riscaldare in modo passivo l'ambiente interno dell'edificio.

Ci si è ispirati in questa decisione al funzionamento delle serre solari che costituiscono uno dei sistemi di riscaldamento passivi più comuni. Entrando nello specifico del funzionamento di queste vetrate, è ben noto infatti che il calore si propaga con tre meccanismi: irraggiamento, conduzione e convezione. Lo scopo che si persegue con il posizionamento di grandi vetrate a sud è quello di ottenere una grande captazione dell'energia proveniente dal Sole, la quale viene accumulata e sfruttata in modo del tutto gratuito grazie anche all'assenza di schermature esterne fisse di qualsiasi genere. Le dispersioni termiche che solitamente sono caratteristiche degli infissi tradizionali possono essere oggi moderate utilizzando doppi vetri isolati termicamente riempiendo l'intercapedine che si forma tra i due, con appositi gas isolanti come l'argon e applicando un trattamento a bassa emissività: vengono rivestiti con

---

<sup>108</sup> <https://www.ingenio-web.it/pdfs/comportamento-vetro-radiazione-solare-atzori.pdf>

uno strato di ossidi metallici che aiutano a limitare le perdite di calore dall'interno verso l'esterno.<sup>109</sup>

Nonostante la conducibilità termica venga abbattuta tramite questi accorgimenti, limitando il passaggio di calore verso l'esterno, l'irraggiamento solare viene lasciato libero di attraversare la superficie trasparente e di contribuire a riscaldare gli ambienti interni. Trovandosi ad altitudini elevate e ben ventilate il problema principale di un edificio situato in queste zone sarà infatti il riscaldamento, ragione per cui non si prevede di installare sistemi di schermatura per limitare l'azione riscaldante del Sole.

---

<sup>109</sup> <https://www.mygreenbuildings.org/2009/12/21/sistemi-solari-passivi-serra-solare-e-muro-trombe>

### 6.3 Energia elettrica

Vista l'impossibilità di allacciare il rifugio alla rete elettrica pubblica essendo questo situato in un luogo remoto e privo di servizi, si prevede di sfruttare nuovamente la fonte solare tramite l'installazione di un impianto fotovoltaico. Un impianto elettrico si dice "in isola" o "off grids" quando non è allacciato alla rete e non ha quindi a disposizione energia con immediatezza. La radiazione solare viene captata da particolari pannelli che sfruttando l'effetto fotoelettrico convertono l'energia ricevuta in energia elettrica, o meglio, generano una forza elettromotrice. La quantità di energia elettrica prodotta sarà in funzione della luce che arriverà sul pannello: orientamento, inclinazione, superficie, condizioni meteorologiche, ma anche la presenza di sporco o di neve sul pannello. In ogni caso il rendimento massimo fra energia solare e energia elettrica generata si attesta intorno al 20%.<sup>110</sup>

La f.e.m. generata è di tipo continuo ma la tensione dipende dalla quantità di radiazione che colpisce la superficie del pannello. Questa sarà massima in condizioni di cielo sereno e si ridurrà fino ad arrivare a zero qualora ci fossero schermature come nuvole o elementi che proiettino ombre sui pannelli. Proprio per questo motivo è stata valutata la posizione più ideale in cui posizionarli: trovandosi sulla sommità di una montagna, in uno spazio aperto e privo di alberi non vi sono elementi che possano ombreggiare la zona, sarà solo da evitare di coprire le celle fotovoltaiche con parti della nuova costruzione. Si è tenuto conto anche del fatto che ad alta quota vi è la possibilità che nevichi (o che comunque vi siano rimasugli di neve) fino a primavera inoltrata e che ci sia dunque la necessità di pulire i pannelli con una frequenza più elevata rispetto a quelli che vengono installati in altre situazioni. Proprio per renderli facilmente accessibili, invece che posizionarli sul tetto, si è pensato di realizzare una pompeiana esterna all'edificio, coperta proprio con i pannelli fotovoltaici, sotto la quale

---

<sup>110</sup> <https://www.ingenio-web.it/articoli/gli-impianti-fotovoltaici-in-isola-a-servizio-di-rifugi-alpini/>

saranno messi a disposizione dei tavoli e delle panche nei quali gli escursionisti possano consumare il proprio pranzo al sacco. L'accesso ai pannelli sarà in questo modo molto più comodo rispetto alla classica soluzione di metterli in copertura del fabbricato.<sup>111</sup>

Tenendo conto che la corrente che solitamente si utilizza negli elettrodomestici e nella rete degli edifici è di tipo alternato (AC) ci sarà bisogno di un dispositivo (inverter) che la converta. Un impianto così semplice non può però funzionare perché instabile, basterà che sopraggiungano alcune nuvole o che cali la notte per renderlo inutilizzabile. Si ricorre solitamente in questi casi, infatti, ad un impianto dotato di un gruppo elettrogeno (motore a combustione interna che produce elettricità) che entra in funzione solo in caso di necessità e di accumulatori che riescano a immagazzinare l'energia in eccesso prodotta nelle ore più soleggiate per poterla sfruttare in quelle notturne o in giornate nuvolose.<sup>112</sup>

Si arriva così a descrivere il tipico impianto in isola che si utilizza solitamente nei rifugi alpini che viene rappresentato nell'immagine seguente:

---

<sup>111</sup> <https://www.ingenio-web.it/articoli/gli-impianti-fotovoltaici-in-isola-a-servizio-di-rifugi-alpini/>

<sup>112</sup> <https://www.ingenio-web.it/articoli/gli-impianti-fotovoltaici-in-isola-a-servizio-di-rifugi-alpini/>

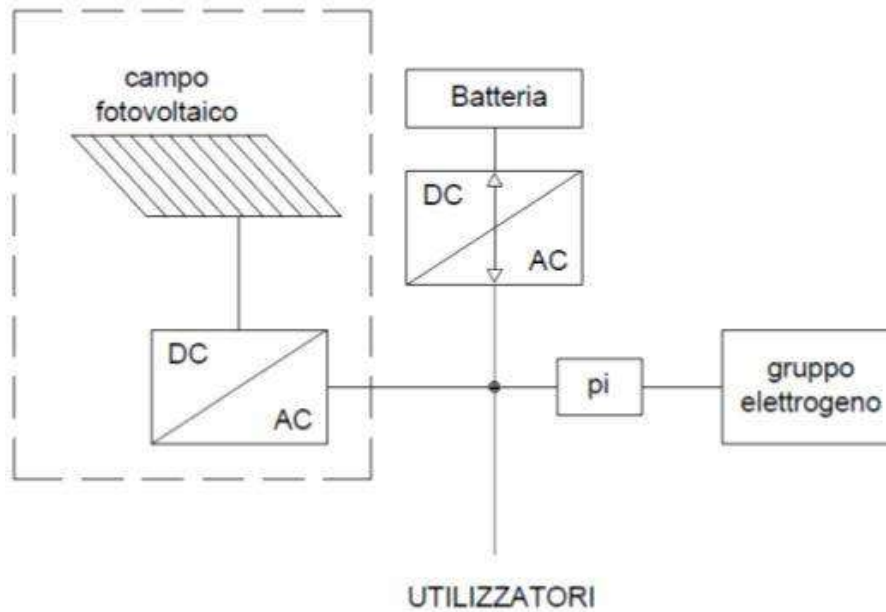


Figura 114: schema impianto fotovoltaico in isola

Per stimare la quantità di superficie che dovrà essere coperta da moduli fotovoltaici e fare quindi un dimensionamento di massima dell'impianto, si fa riferimento ad altri rifugi simili a quello di progetto realizzati in tempi moderni. Si suppone dunque che la tecnologia utilizzata e il rendimento dei pannelli sia comparabile. Riferendosi ai casi analizzati e rapportando la capienza dei vari rifugi oltre che le loro dimensioni con la situazione in esame, si ritiene siano sufficienti 50 m<sup>2</sup> di superficie coperta da pannelli fotovoltaici, orientati con la superficie rivolta a sud in modo da sfruttare al massimo la radiazione solare.

Sul pianoro preso in esame non vi sono in alcun punto problemi legati ad ombre proiettate da elementi naturali più alti; quindi, qualsiasi posizione risulta favorevole per l'installazione a patto di non crearne col nuovo edificio e di rispettare il corretto orientamento dei pannelli. Valutando la posizione più adeguata su cui disporre i pannelli si è valutata la possibilità di porli su una struttura lignea esterna rispetto al corpo principale in modo che si trovino ad un'altitudine dal suolo più bassa e che siano più facilmente accessibili per manutenzione e pulizia. Si è data particolare importanza a questo aspetto in

quanto si valuta che la presenza di neve che potrebbe coprire l'impianto andrebbe probabilmente ad estendersi fino a ridosso della stagione estiva. Vi sarà quindi la necessità di raggiungere i pannelli per poterla rimuovere e consentire l'utilizzo delle apparecchiature.

Di contro però, questo avrebbe implicato di creare una ulteriore struttura artificiale che posta in un ambiente completamente incontaminato non si sarebbe ben inserita nel contesto. La scelta finale ha portato quindi alla soluzione più classica: quella di coprire la falda sud-ovest del fabbricato con pannelli e di prevedere l'installazione in copertura degli appositi punti di ancoraggio per consentire agli operatori di accedere in modo facile e sicuro al tetto.

## 6.4 Riscaldamento

Il riscaldamento dell'acqua e degli ambienti interni in modo attivo viene fornito da un impianto solare termico. Nell'edificio sono state appositamente fatte delle scelte tecniche per ridurre al minimo l'apporto del riscaldamento attivo, nonostante ciò, si prevede di doverne comunque fornire, anche se in quantità ridotta, nella stagione primaverile appena il rifugio aprirà per la stagione, oltre che in quella autunnale poco prima di chiudere, quando le temperature di notte scendono anche vicine allo 0°C.

Inoltre, anche durante la stagione estiva deve essere fornita agli ospiti e al personale la possibilità di poter usufruire di acqua calda per potersi lavare, anche se pure questa viene solitamente razionata in queste strutture per usarne il meno possibile.

Oltre a questa fonte rinnovabile, una stufa a legna sarà a disposizione di eventuali escursionisti che potrebbero raggiungere il locale invernale nella stagione fredda. Questa fornirà un calore immediato che sarà in grado di raggiungere temperature modeste in poco tempo anche con condizioni meteorologiche esterne molto rigide.



## 6.5 Raccolta e smaltimento delle acque

Essendo quella idrica una delle risorse indispensabili e più limitate nel caso di rifugi alpini d'alta quota, deve essere appositamente progettato e dimensionato un idoneo sistema di raccolta e approvvigionamento delle acque. Visto che comunque la quantità accumulabile sarà limitata, si applicano solitamente in strutture come questa delle accortezze per risparmiare la risorsa idrica che può essere carente in estate. Tra queste si trovano il recupero delle acque di scarico dei lavandini per riempire le vaschette dei wc, la presenza in queste stesse vaschette di un doppio pulsante di scarico che permetta un risparmio idrico nel caso non vi sia necessità di scaricare tutta la capienza del serbatoio e il buon senso di ospiti e personale che sono solitamente invitati a usare meno acqua possibile in quanto i rifugi vengono alimentati da serbatoi di capienza limitata.

Per fare in modo che l'approvvigionamento avvenga tramite la risorsa idrica presente in situ e non attraverso rifornimenti da valle con costi di trasporto annessi decisamente più alti, si predispone il posizionamento di una vasca di raccolta posta poche decine di metri più a sud dell'edificio: dove il terreno inizia ad acquisire pendenza. In questo modo sarà possibile interrarne una parte del serbatoio ed eventualmente nascondere la parte emergente dal suolo in modo che non rovini la visuale.

Sempre nella stessa zona andrà posizionato il sistema di raccolta e depurazione delle acque di scarico con annessa vasca imhoff. Anche il tema dello scarico delle acque reflue è di particolare importanza, infatti, nelle strutture ad alta quota, oltre a essere queste difficilmente raggiungibili dalla rete idrica che fornisce l'acqua potabile, lo sono anche dagli allacci alla fognatura.

## 7 Viste Rifugio Crëp das Dodesc



*Figura 115: Rifugio Crëp das Dodesc, vista lato Sud*



*Figura 116: Rifugio Crëp das Dodesc, vista lato Est*



*Figura 117: Rifugio Crëp das Dodesc, vista facciata Sud-Est*

## 8 Conclusioni

La presente tesi tratta la progettazione di un rifugio montano situato ad alta quota (2384 m s.l.m.) e privo di vie di accesso con mezzi pesanti. È stato inizialmente scelto un sito che potesse rispecchiare le caratteristiche richieste e che si prestasse anche strategicamente ad ospitare un nuovo edificio di questo tipo in relazione alla sua posizione e alle altre strutture ricettive presenti nei dintorni.

Il progetto è stato poi sviluppato partendo dalle caratteristiche morfologiche e ambientali del sito di destinazione e utilizzando le tecniche costruttive tipiche dei più moderni rifugi realizzati a quote analoghe o superiori. Per la progettazione architettonica e la disposizione degli ambienti interni ed esterni si è fatto riferimento al regolamento fornito dal Club Alpino Italiano (CAI). Si sono inoltre studiate le caratteristiche di altre strutture similari a cui si è fatto riferimento nella determinazione delle caratteristiche e degli spazi necessari per l'edificio.

La trattazione si è sviluppata poi dal punto di vista strutturale mettendo al primo posto il tema della sostenibilità energetica e ambientale. Nella progettazione si sono infatti attuate alcune strategie atte a ridurre al minimo i consumi e a impattare nel minor modo possibile in un ambiente naturale e protetto come quello di un parco naturale.

Nella scelta dei materiali è stata prediletto l'uso di quelli quanto più possibile naturali e presenti in zona. La tecnica costruttiva adottata è stata quella di un telaio ligneo portante con travi e pilastri in legno lamellare e tamponature realizzate con pannelli sandwich autoportanti e coibentati internamente tramite fibra di legno ad alta densità. I ponti termici sono stati infine corretti con l'applicazione di un cappotto esterno da 5 cm in fibra di legno a densità più bassa e ricoperto infine da una parete ventilata con rivestimento in lamiera metallica (rame) di protezione. Solai e copertura sono stati progettati con

metodo costruttivo tradizionale a travi di legno primarie e secondarie e lasciati a vista in gran parte dell'edificio. La resistenza alle azioni laterali viene affidata ai pannelli OSB con cui sono realizzate le pareti e al tavolato a 45° posto su entrambe le facce delle pareti perimetrali. Sulle vetrate vengono invece posti dei controventi metallici con cavi d'acciaio.

Nelle fondazioni infine sono state considerate tre opzioni in modo da poter rendere l'edificio versatile e da poterlo inserire anche in contesti con sottosuoli differenti. Per il sito in esame, tuttavia, l'opzione che si reputa più indicata è rappresentata dalla realizzazione di un piano rigido orizzontale con profili in acciaio ancorato direttamente alla roccia tramite elementi puntuali sempre in acciaio che permettano di correggere le tolleranze di posa.

Una delle accortezze a cui è stata posta particolare attenzione ed importanza è stata quella di realizzare tutto il fabbricato mediante l'utilizzo di elementi posti in opera a secco: questo per facilitare il trasporto in situ dei materiali, velocizzare le operazioni di montaggio e ottenere una struttura che possa eventualmente essere un giorno facilmente smontabile, rimovibile e riciclabile (altro punto fondamentale per garantire la sostenibilità ambientale).

Le dotazioni tecnologiche di cui si dota la struttura sono rappresentate principalmente dall'utilizzo di pannelli fotovoltaici e solari termici che provvedono all'energia necessaria per alimentare le apparecchiature elettriche oltre che per fornire acqua calda e riscaldamento. L'energia del sole viene poi ulteriormente sfruttata grazie alla presenza di grandi vetrate che poste nelle facciate rivolte a sud, contribuiscono a captare e immagazzinare all'interno dell'involucro la radiazione solare.

L'approvvigionamento idrico viene poi affidato a vasche di raccolta disposte appena a valle dell'edificio e in grado di immagazzinare l'acqua piovana e quella proveniente dallo scioglimento della neve. In caso di necessità si prevede la possibilità di attingere anche all'acqua che verrebbe fornita da un torrente che scorre qualche centinaio di metri più a valle rispetto alla cima su

cui si vuole intervenire. Le acque reflue vengono invece depurate e scaricate in vasca imhoff vista l'ovvia assenza di attacchi in fognatura.

Alla luce di quanto elencato si ritiene di considerare soddisfatte le richieste di progetto e di poter realizzare una struttura che ben si inserisca in un ambiente naturale fragile e complesso come quello dell'alta montagna.



## 9 Bibliografia:

CLUB ALPINO ITALIANO regolamento generale: regolamento strutture ricettive del club alpino italiano

Art.6 Legge 217/1983

Regolamento generale rifugi (26.11.2011), CAI

Associazione Cantieri d'alta quota: Luca Gibello, Roberto Dini, Giorgio Masserano (2014) Workshop tecnico - Restructura, Torino - 28 novembre 2015

Canetti D., Sartori T., Polastri A., Edifici in legno: una soluzione prefabbricata per l'attacco a terra. (2020). Structural 230

Pozza L., Comunian M., Scotta R., Strategie innovative per prevenire il deterioramento delle pareti in legno e le problematiche legate all'installazione. (2019)

Riccardo Fanti, Edgar Ferro, Giulia Forlati, Alessandro Gajo, Marco Gerola, Simone Graffer, Stefano Menapace, Marco Molinari, Andrea Polastri, Stefano Rossi, Lucia Simeoni: Fomndazioni a secco per edifici in legno (2022)

## 10 Sitografia:

[https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio\\_alpino](https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio_alpino)

<https://www.cai.it/wp-content/uploads/2020/12/Regolamento-strutture-ricettive-del-Club-Alpino-Italiano-20201.pdf>

[https://www.istat.it/it/files//2018/07/2003\\_9.pdf](https://www.istat.it/it/files//2018/07/2003_9.pdf)

[https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2018-11/scheda\\_tecnica\\_rifugi\\_escursionistici.pdf](https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2018-11/scheda_tecnica_rifugi_escursionistici.pdf)

[https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio\\_alpino](https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio_alpino)

<https://www.saliinvetta.com/culture-e-tradizioni/1226-i-rifugi-alpini-storia-delle-dimore-in-quota>

<http://rifugiebivacchi.cailugo.it/Inside.cfm?area=STORIA&sezione=STORIA>

<https://www.cai.it/storia-2/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio\\_Nuvolau](https://it.wikipedia.org/wiki/Rifugio_Nuvolau)

<https://rifugionuvolau.it/>

<https://www.cantieridaltaquota.eu/tesi/il-futuro-di-unidentita-in-alta-quota/>

<https://rifugiolagazuoi.com>

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

<https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/i-rifugi-eco-sostenibili-tra-tecnologia-e-risparmio-energetico/>

[https://www.casaenergetica.it/info/viaggi\\_energetici/rifugi/monte\\_rosa\\_hutte.html](https://www.casaenergetica.it/info/viaggi_energetici/rifugi/monte_rosa_hutte.html)

<https://www.sac-cas.ch/it/capanne-e-escursioni/portale-escursionistico-del-cas/monte-rosa-huette-sac-2147000182/>

<http://gsvmservizi.it/2016/10/26/upsi-a-2883-metri/>

<https://www.greenme.it/casa-e-giardino/bioedilizia-e-bioarchitettura/neu-monte-rosa-hutte-il-rifugio-di-montagna-ecosostenibile/>



[https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-del-gouter\\_it](https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-del-gouter_it)

<https://turismo.saintgervais.com/hebergement-collectif/refuge-du-gouter-ffcam-saint-gervais-les-bains>

[https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-al-sasso-nero\\_it](https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-al-sasso-nero_it)

<https://www.infobuildenergia.it/al-sasso-nero-rifugio-rivestito-rame-alpi/>

<https://www.infobuildenergia.it/al-sasso-nero-rifugio-rivestito-rame-alpi/>

<https://www.schwarzensteinhuetten.com/it/>

<https://www.provincia.bz.it/costruire-abitare/edilizia-pubblica/riedificazione-rifugio-al-sasso-nero.asp>

<https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/legno-lamellare-nuovo-rifugio-gonella-monte-bianco-189>

<https://www.caitorino.it/rifugi/gonella/>

<https://www.regione.vda.it/allegato.aspx?pk=33887>

<https://www.imuntagnin.it/bivacco-col-clapier.html>

<https://www.cantieridaltaquota.eu/un-nuovo-bivacco-sulle-tracce-di-annibale/?amp=1>

<https://www.area-arch.it/bivacco-gervasutti/>

<https://ecologico.altervista.org/bivacco-gervasutti-prefabbricazione-estrema/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Alta\\_via](https://it.wikipedia.org/wiki/Alta_via)

<https://www.altabadia.org/it/estate/escursionismo-alpinismo/alta-via-dolomiti-2.html>

<https://www.val-gardena.com/it/le-dolomiti/parco-naturale-puez-odle/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Legno\\_lamellare](https://it.wikipedia.org/wiki/Legno_lamellare)

<https://www.rothoblaas.it/prodotti/fissaggio/piastre-e-connettori/portapilastrix10>

<https://www.rothoblaas.it/prodotti/fissaggio/piastre-e-connettori/giunzioni-a-scomparsa/uv-t#documents>

<https://living.corriere.it/architettura/gallery/rifugi-piemonte-trentino-foto/>

<https://www.rothoblaas.it/prodotti/fissaggio/piastre-e-connettori/controventi>

<https://www.diasen.com/isolamento-termico-bioedilizia/>

<https://www.fibradilegno.com/sfasamento-termico-fibra-di-legno.html>

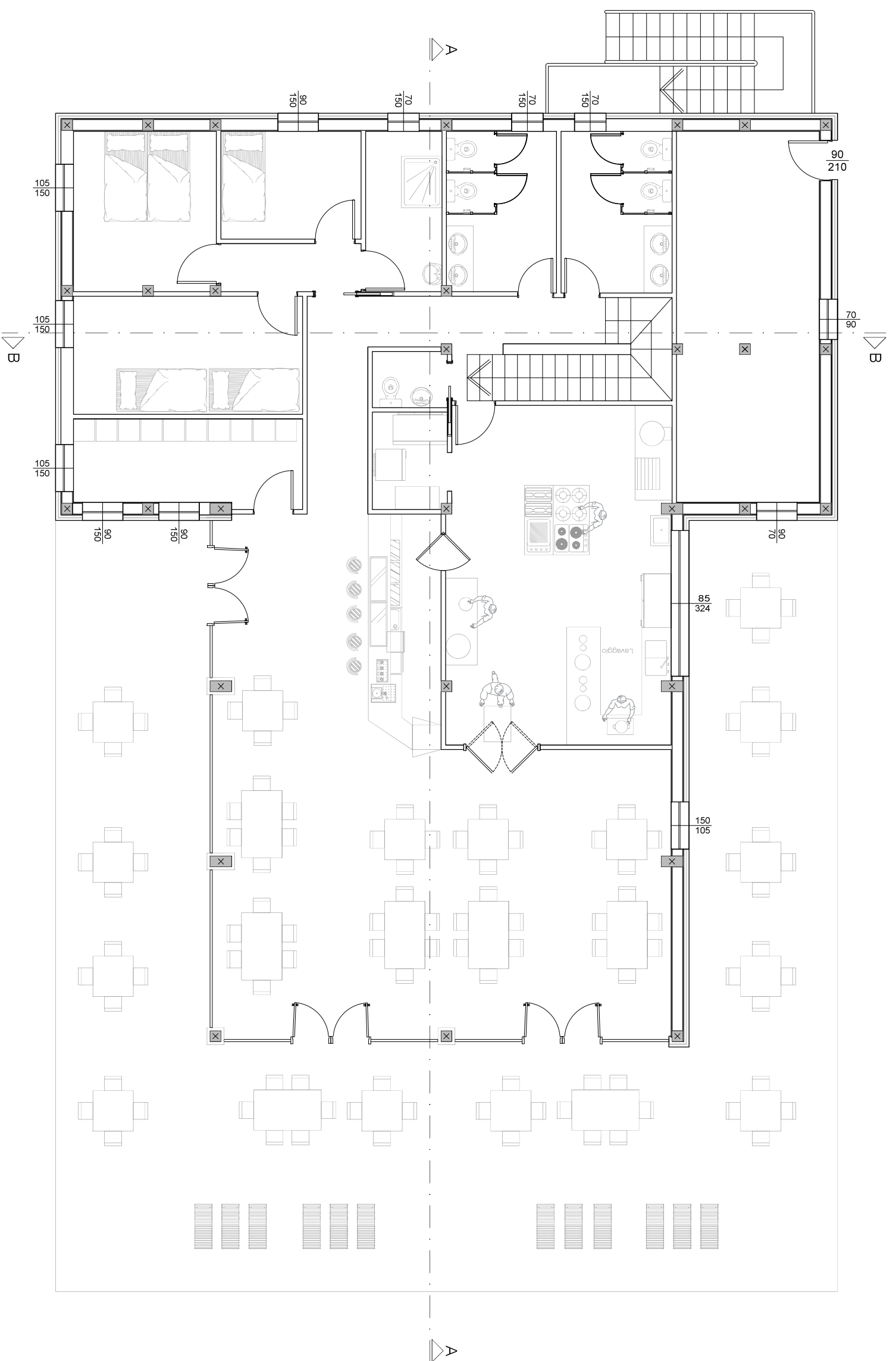
<https://www.costruirebio.it/isolamento-fibra-di-legno>

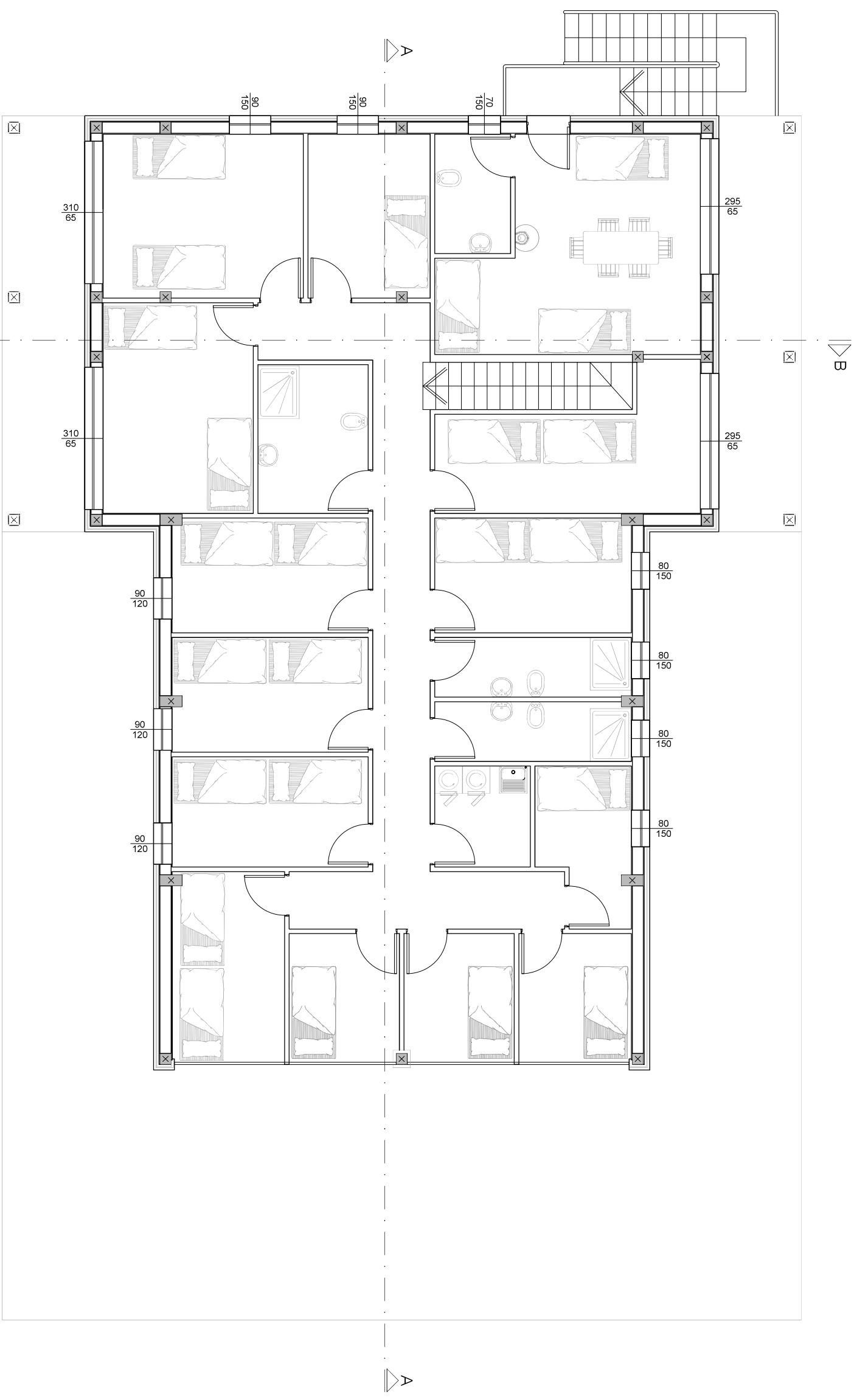
<https://www.ingenio-web.it/pdfs/comportamento-vetro-radiazione-solare-atzori.pdf>

<https://www.mygreenbuildings.org/2009/12/21/sistemi-solari-passivi-serra-solare-e-muro-trombe>

<https://www.ingenio-web.it/articoli/gli-impianti-fotovoltaici-in-isola-a-servizio-di-rifugi-alpini/>

# ALLEGATO A: ELABORATI GRAFICI

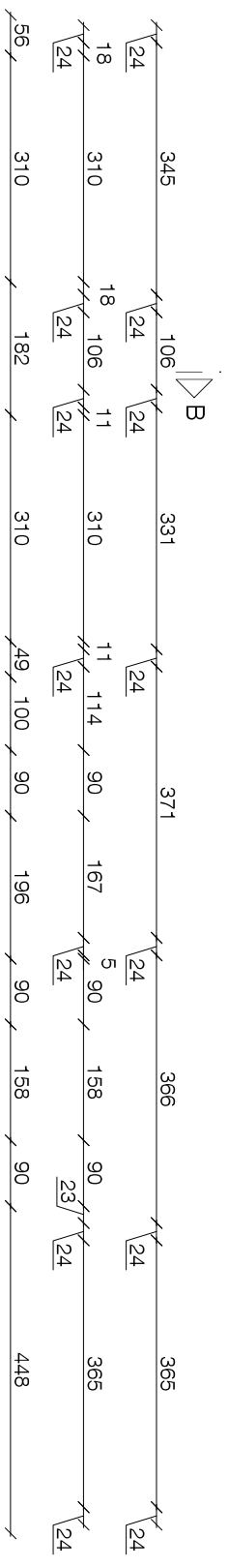
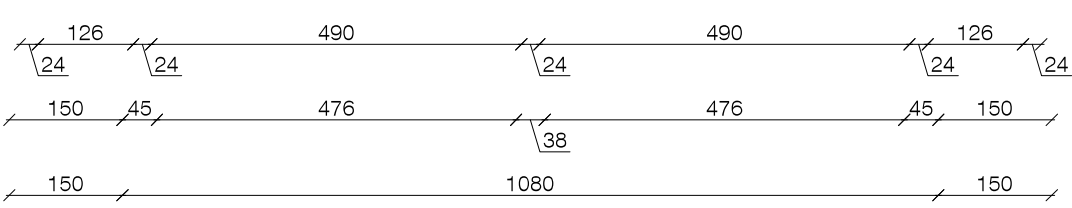
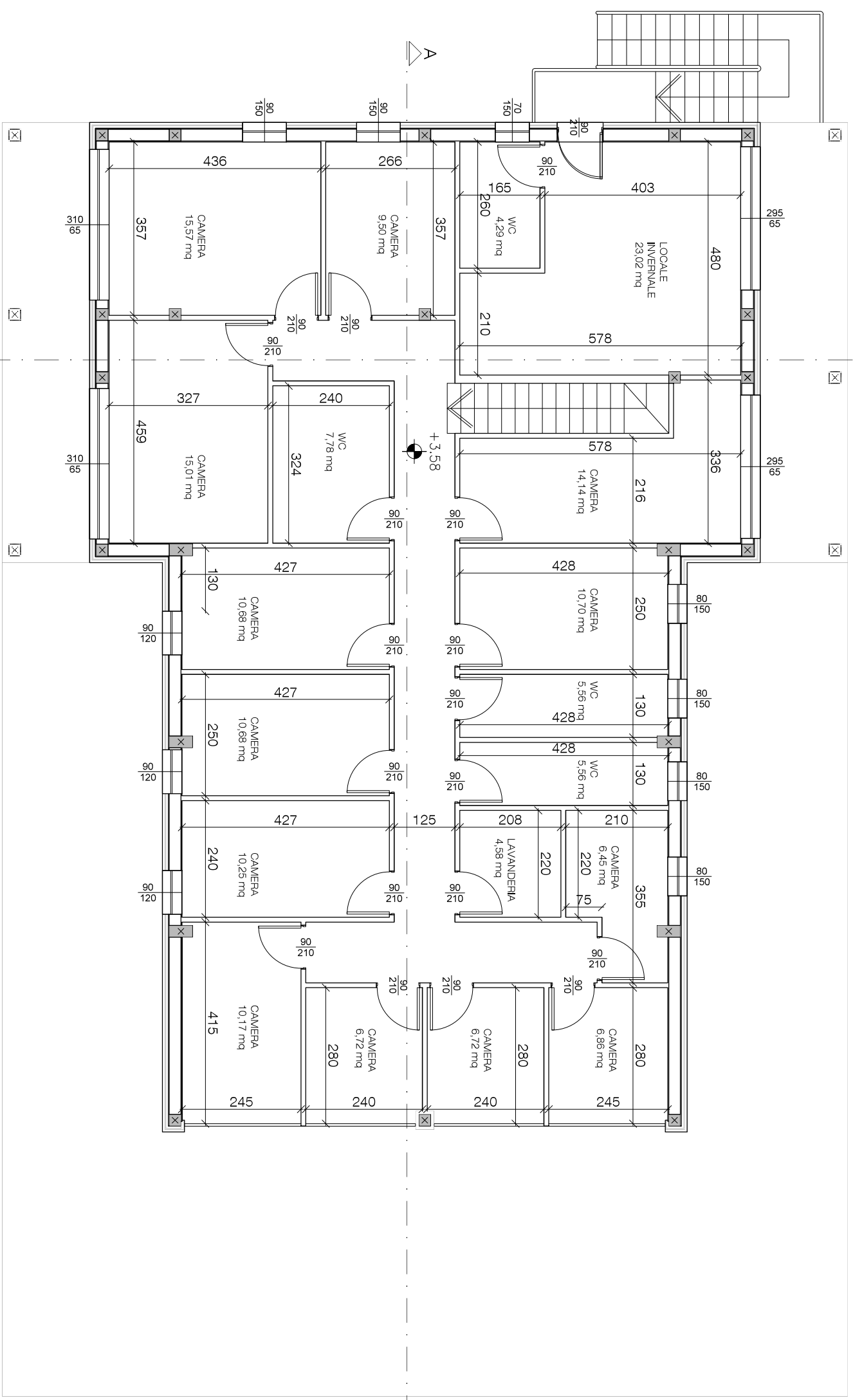
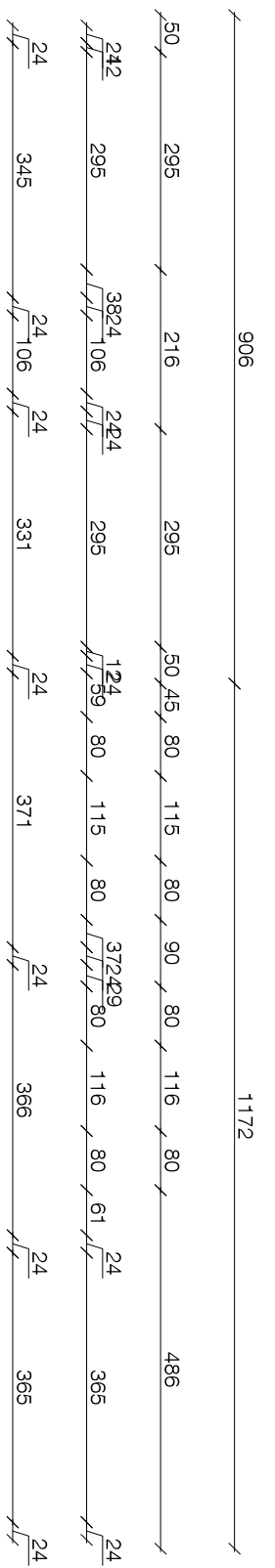
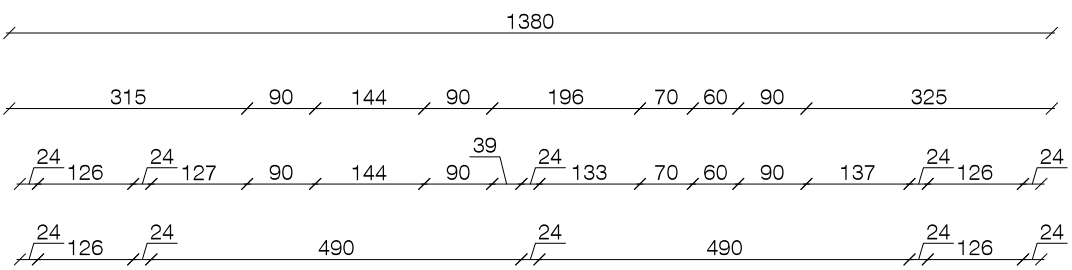




Studente:  
Marco Lazzari 1237199

Piano Primo arredato  
Scala 1:100





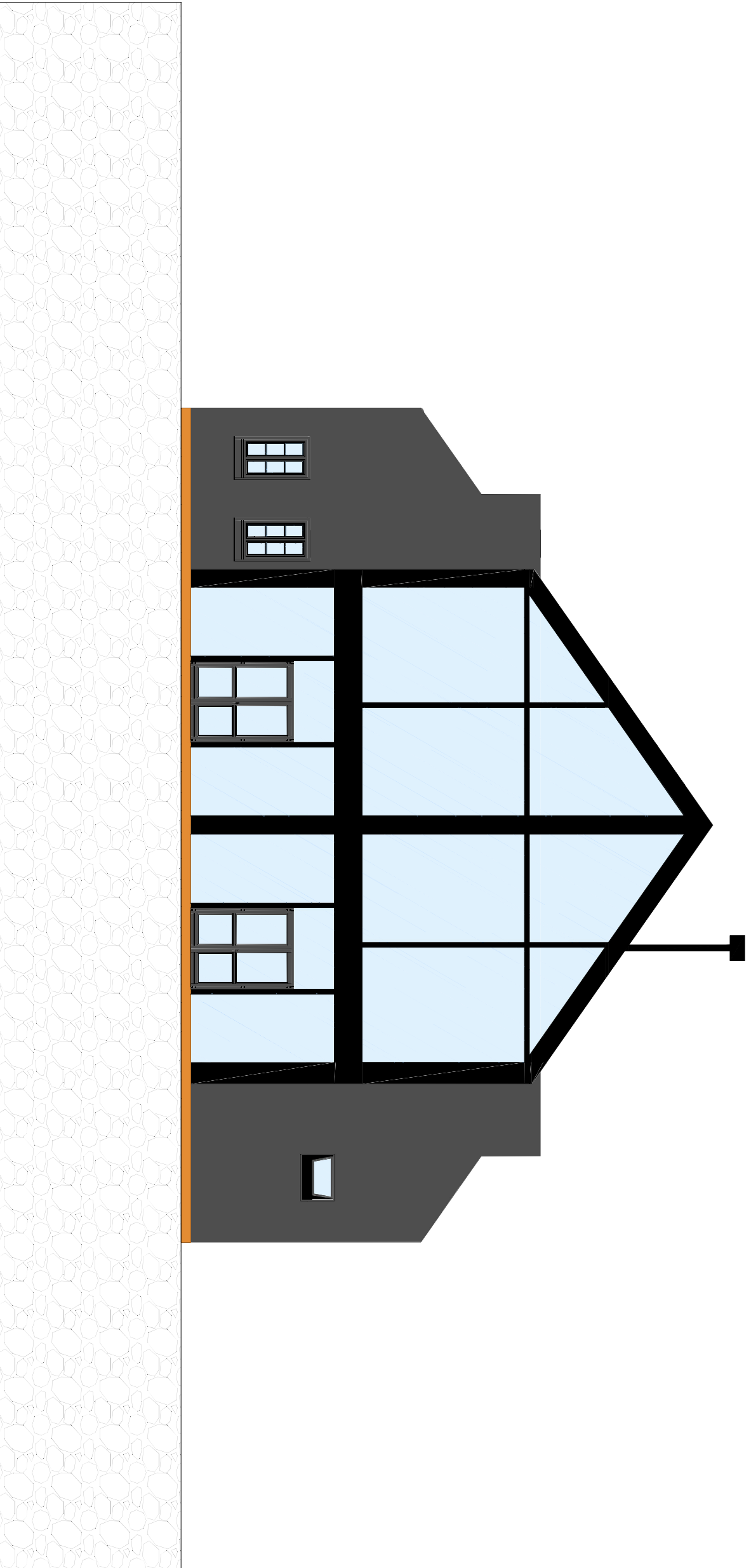
UNIVERSITÀ  
 DEGLI STUDI  
 DI PADOVA

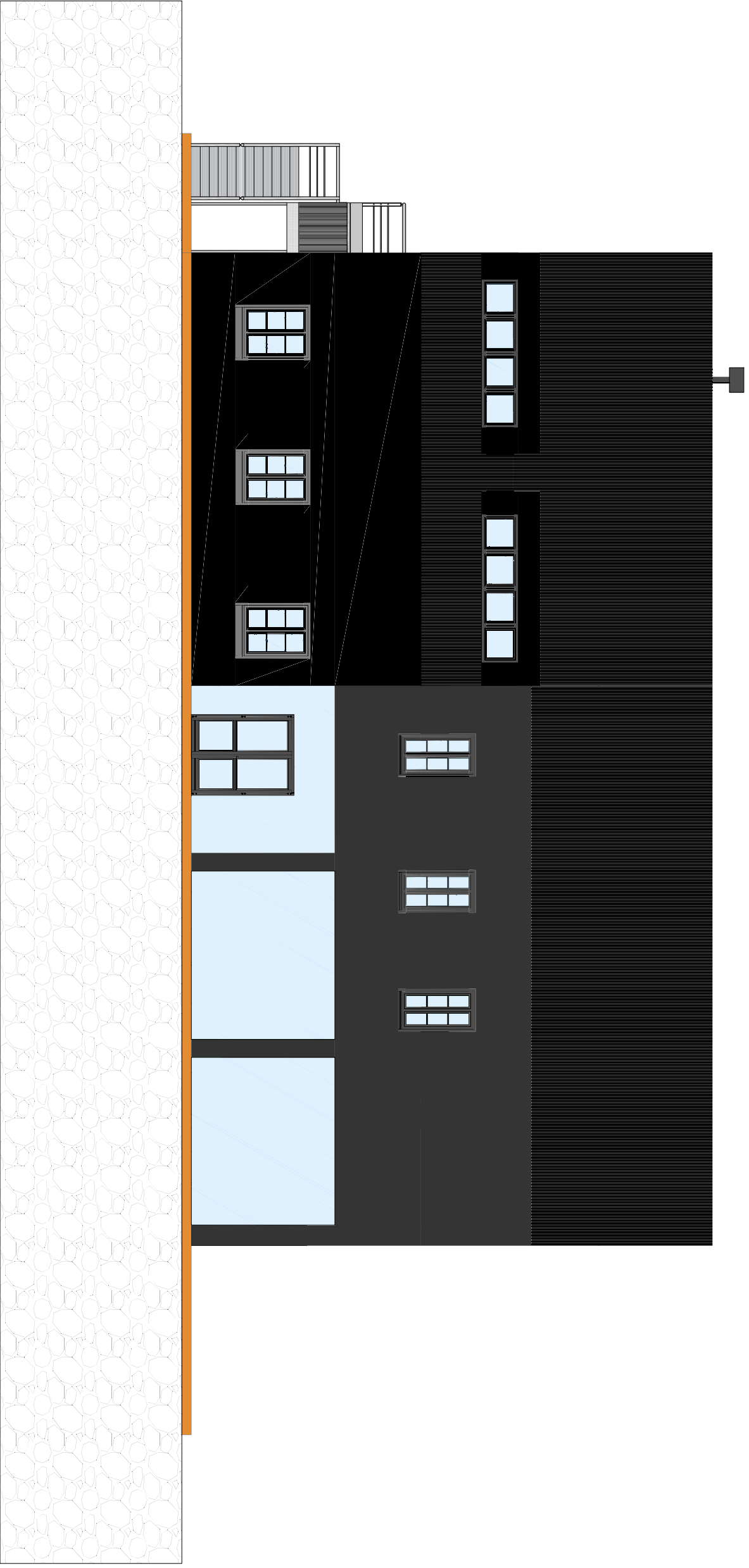


Studente:  
 Marco Lazzari 1237199

Piano Primo quotato  
 Scala 1:100





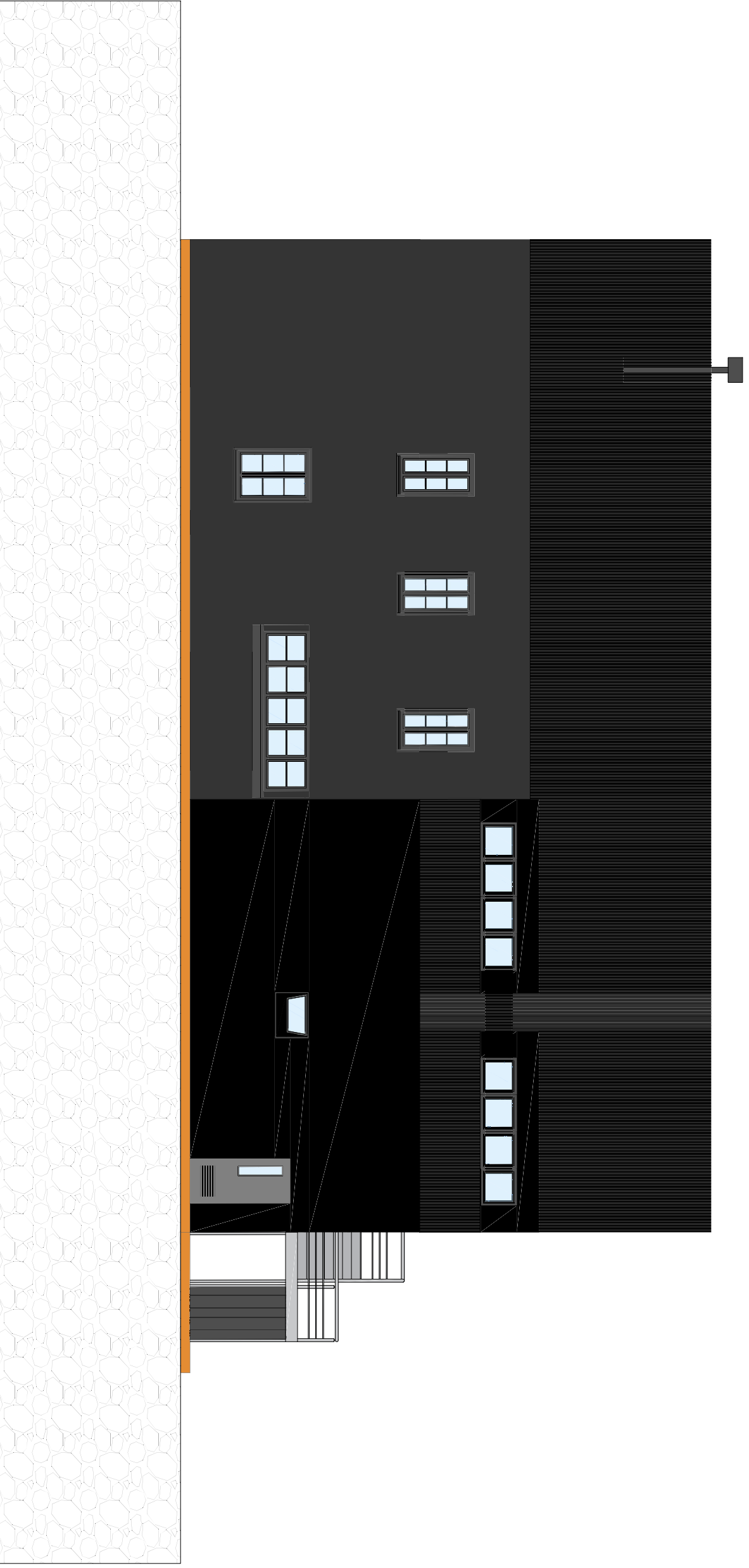


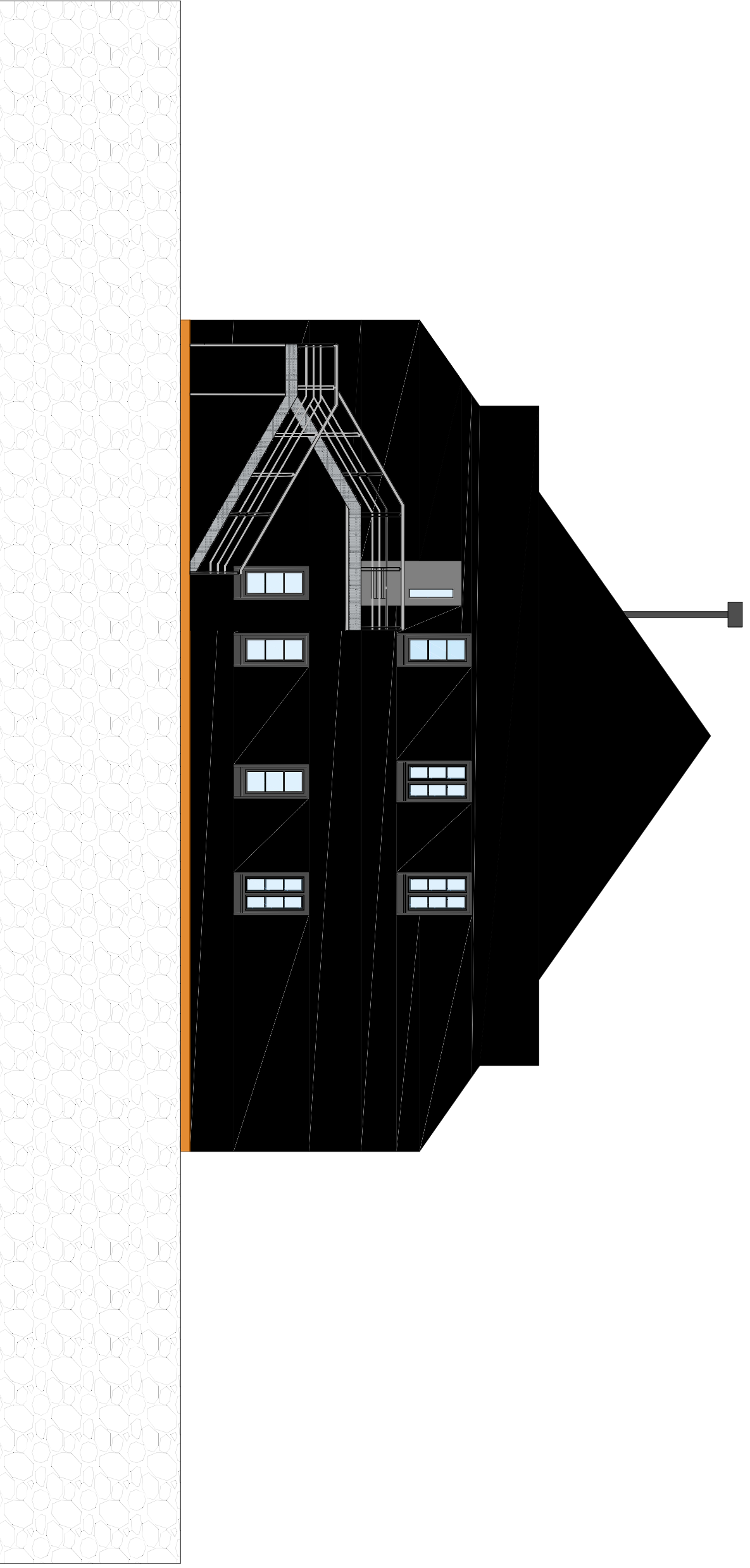
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



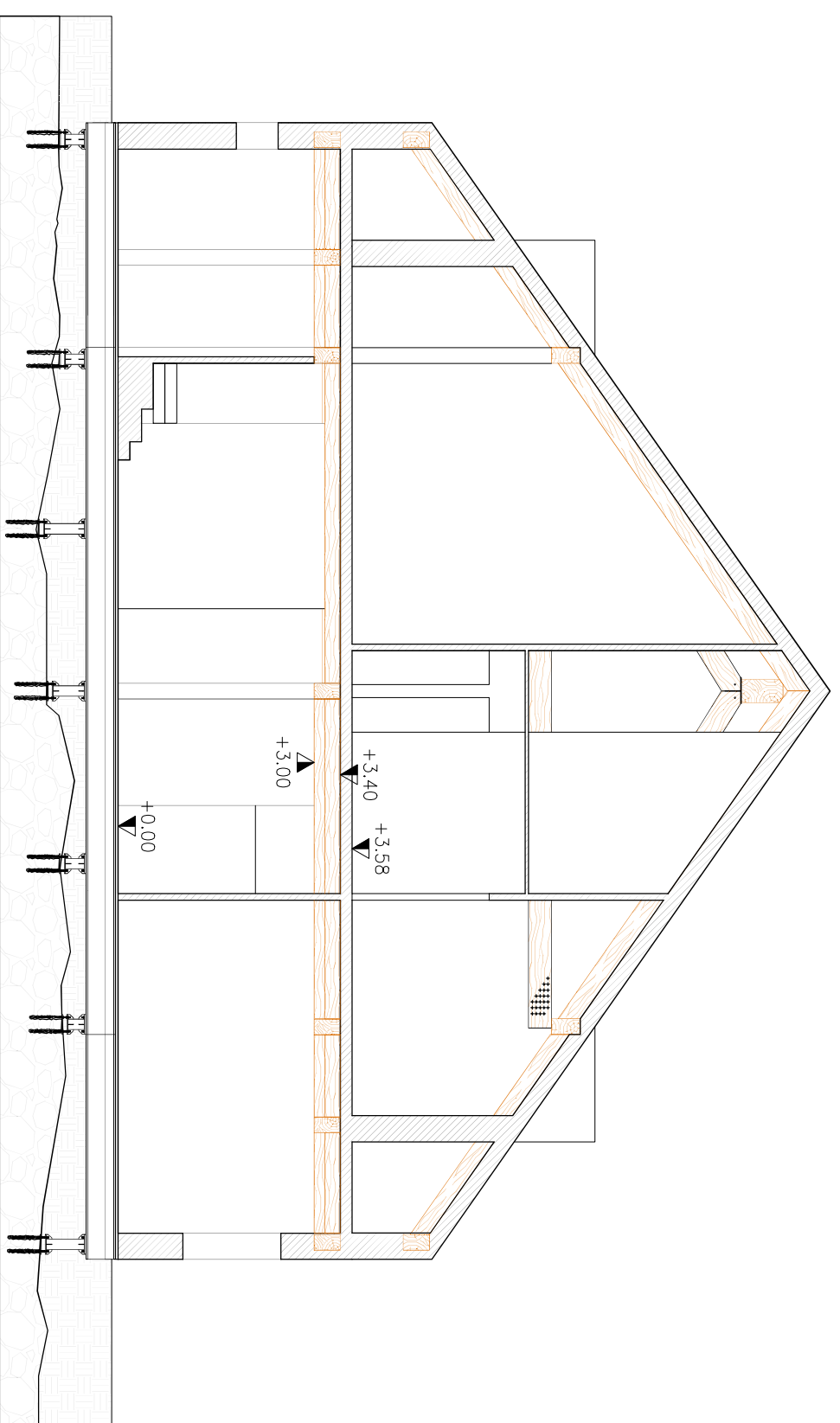
Studente:  
Marco Lazzari 1237199

Prospetto SUD-OVEST  
Scala 1:100

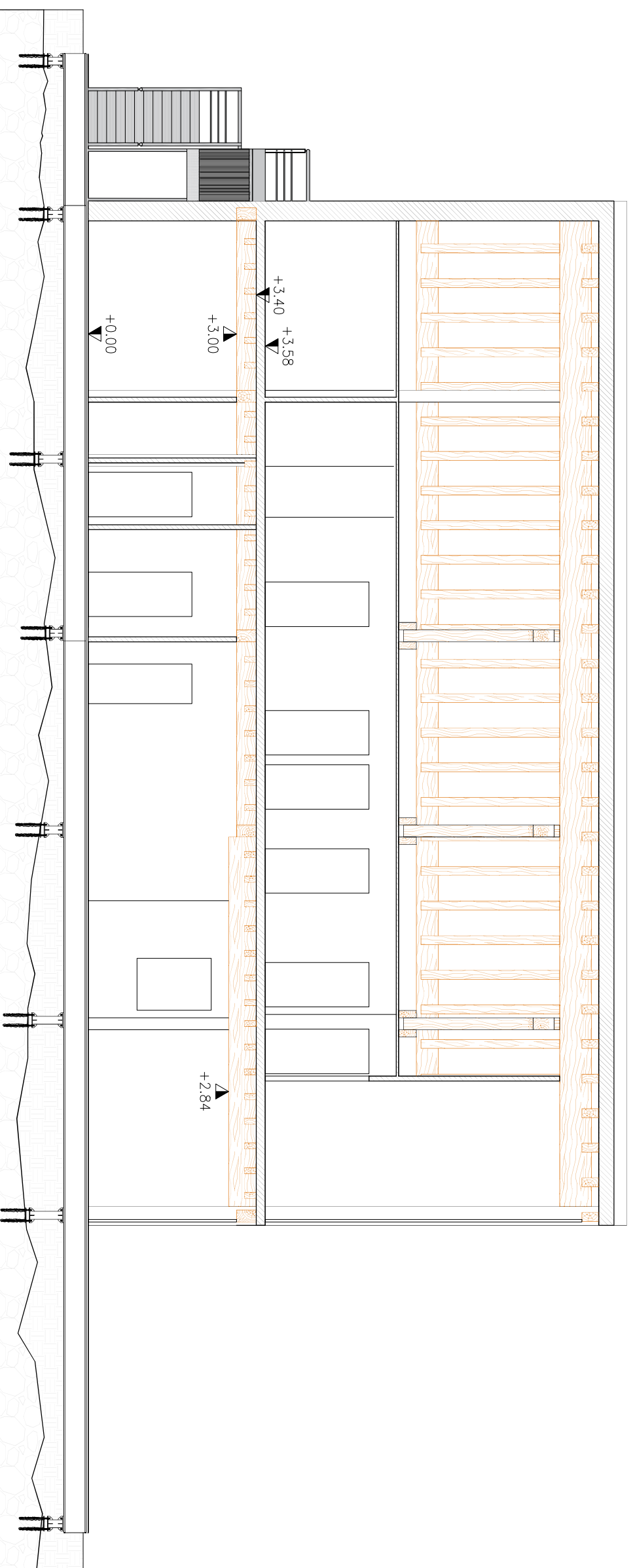




SEZ. A-A  
Scala 1:100



SEZ. B-B  
Scala 1:100

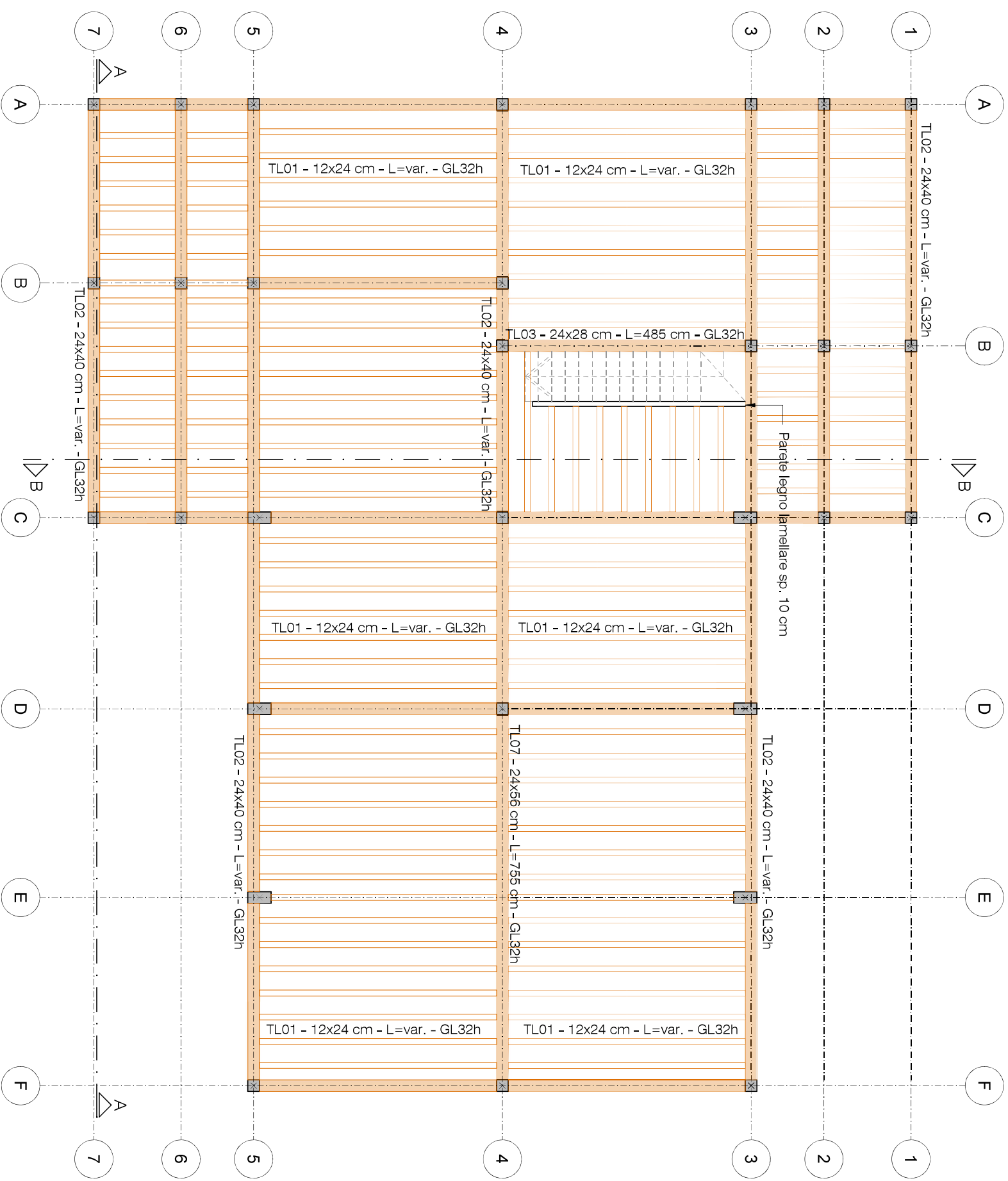


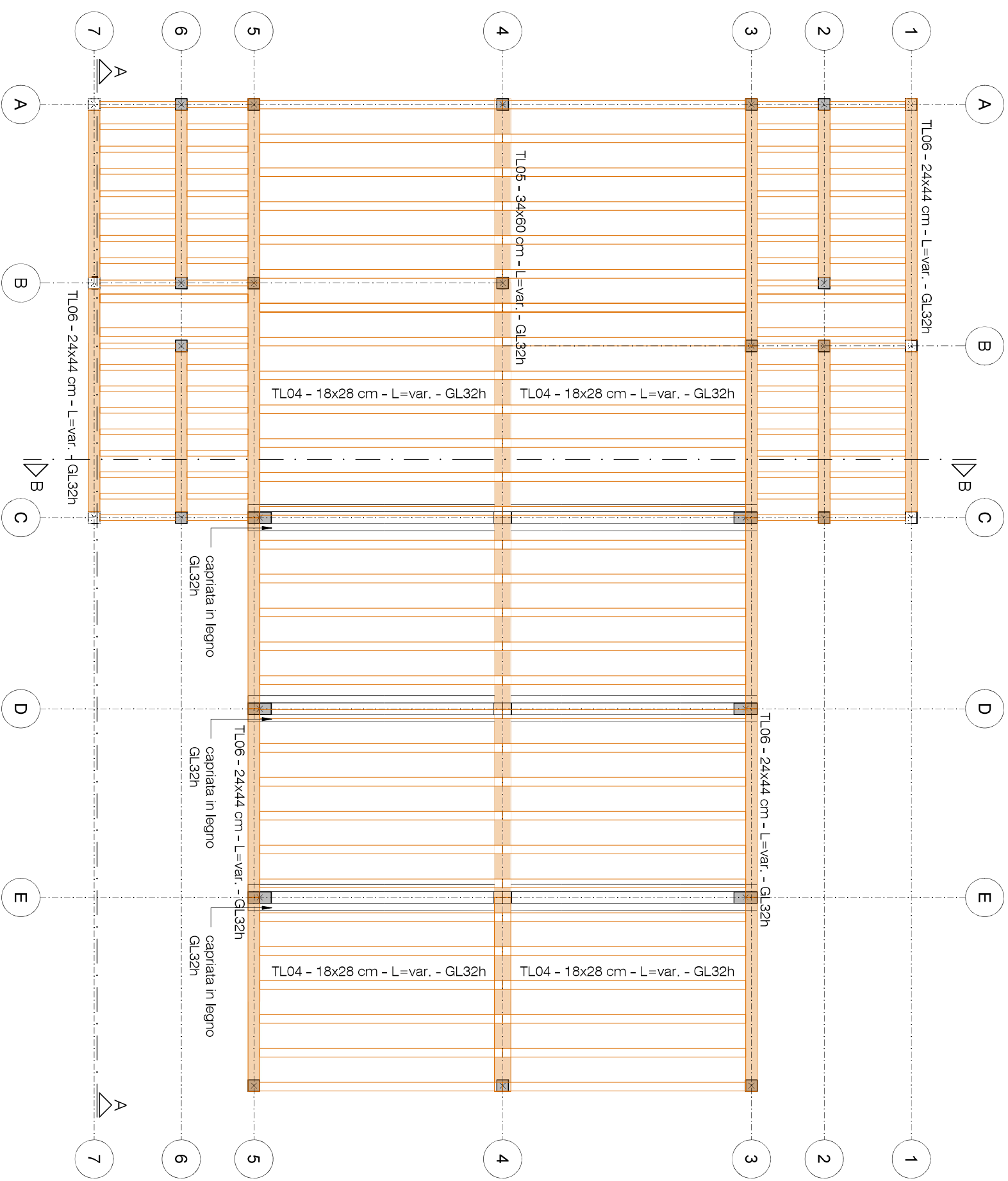
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

ICEA

Studente:  
Marco Lazzari 1237199

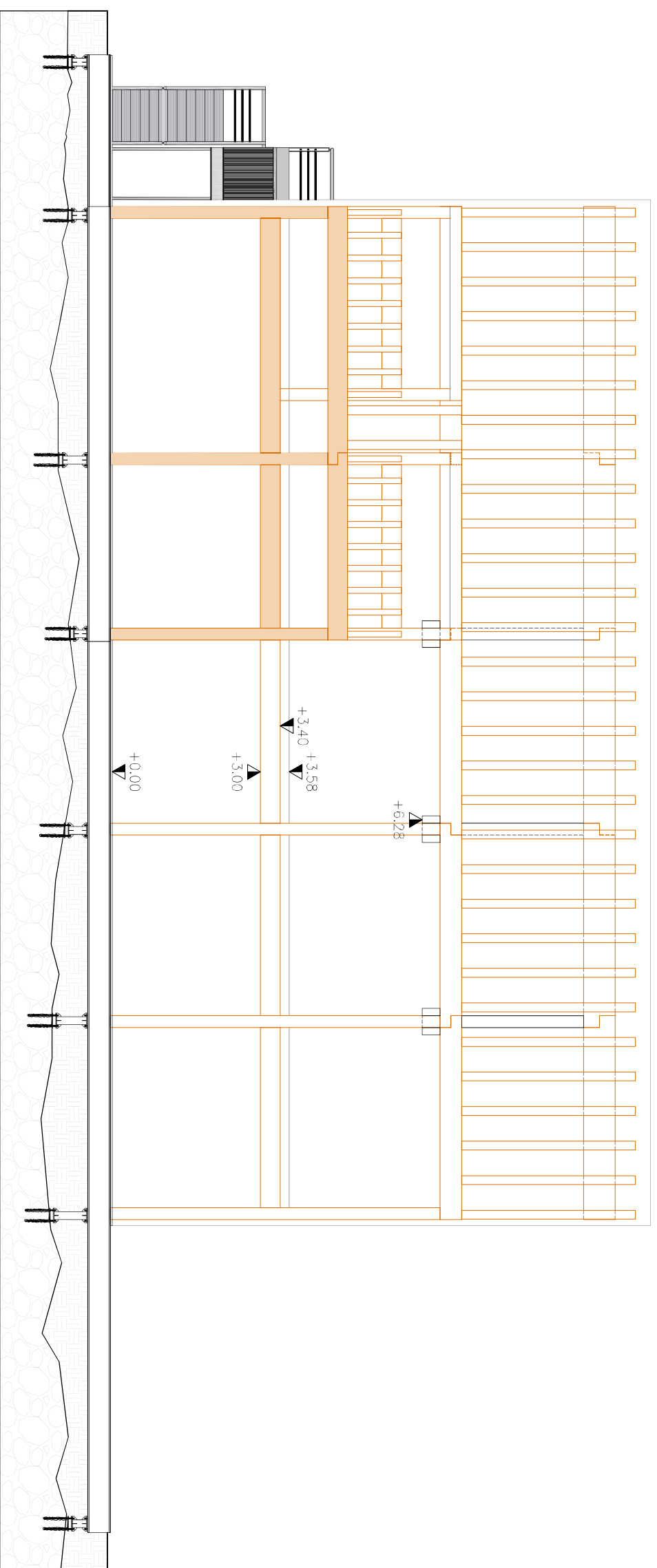
Sezioni Architettoniche  
Scala 1:100



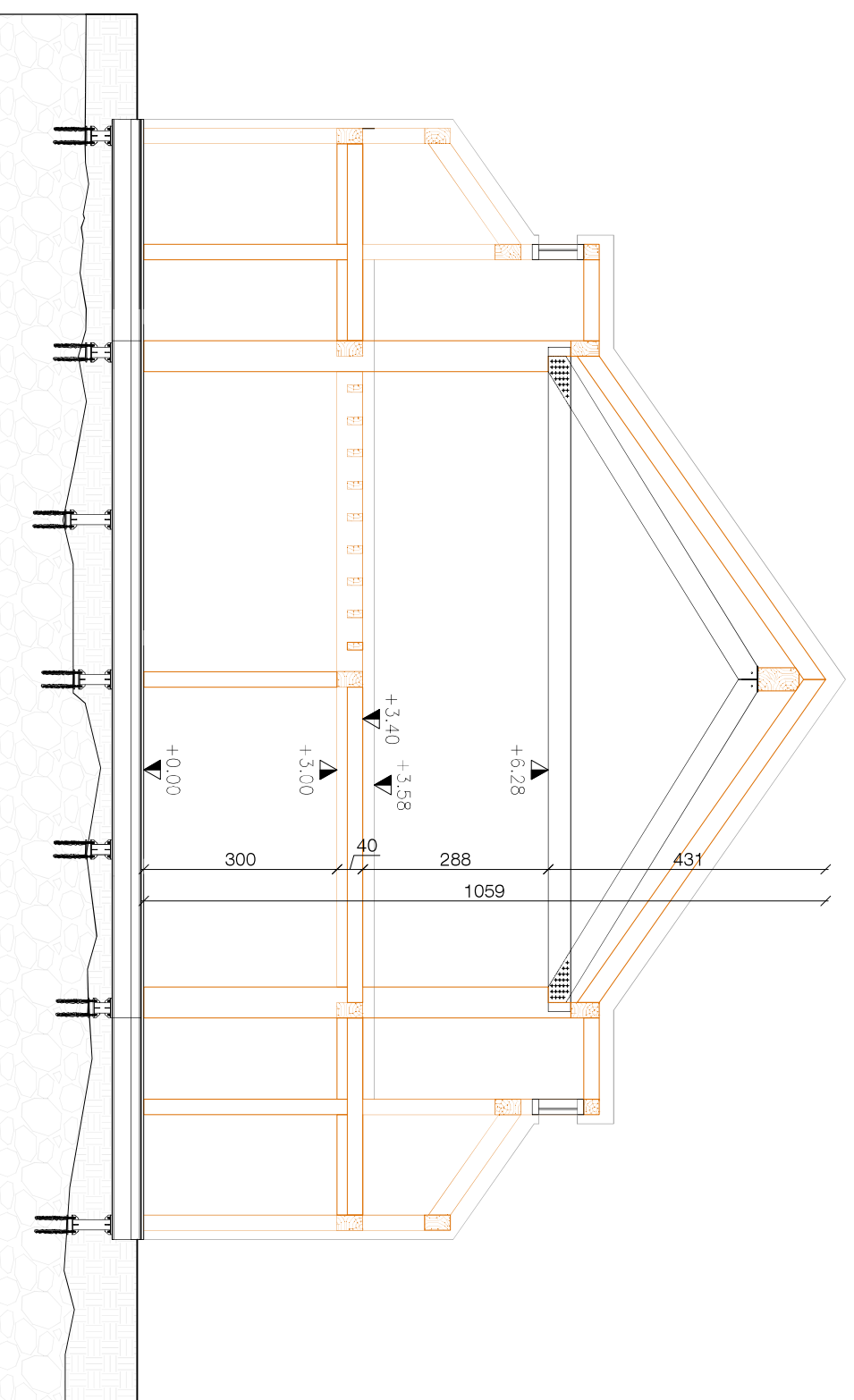




SEZ. A-A  
Scala 1:100



SEZ. B-B  
Scala 1:100



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

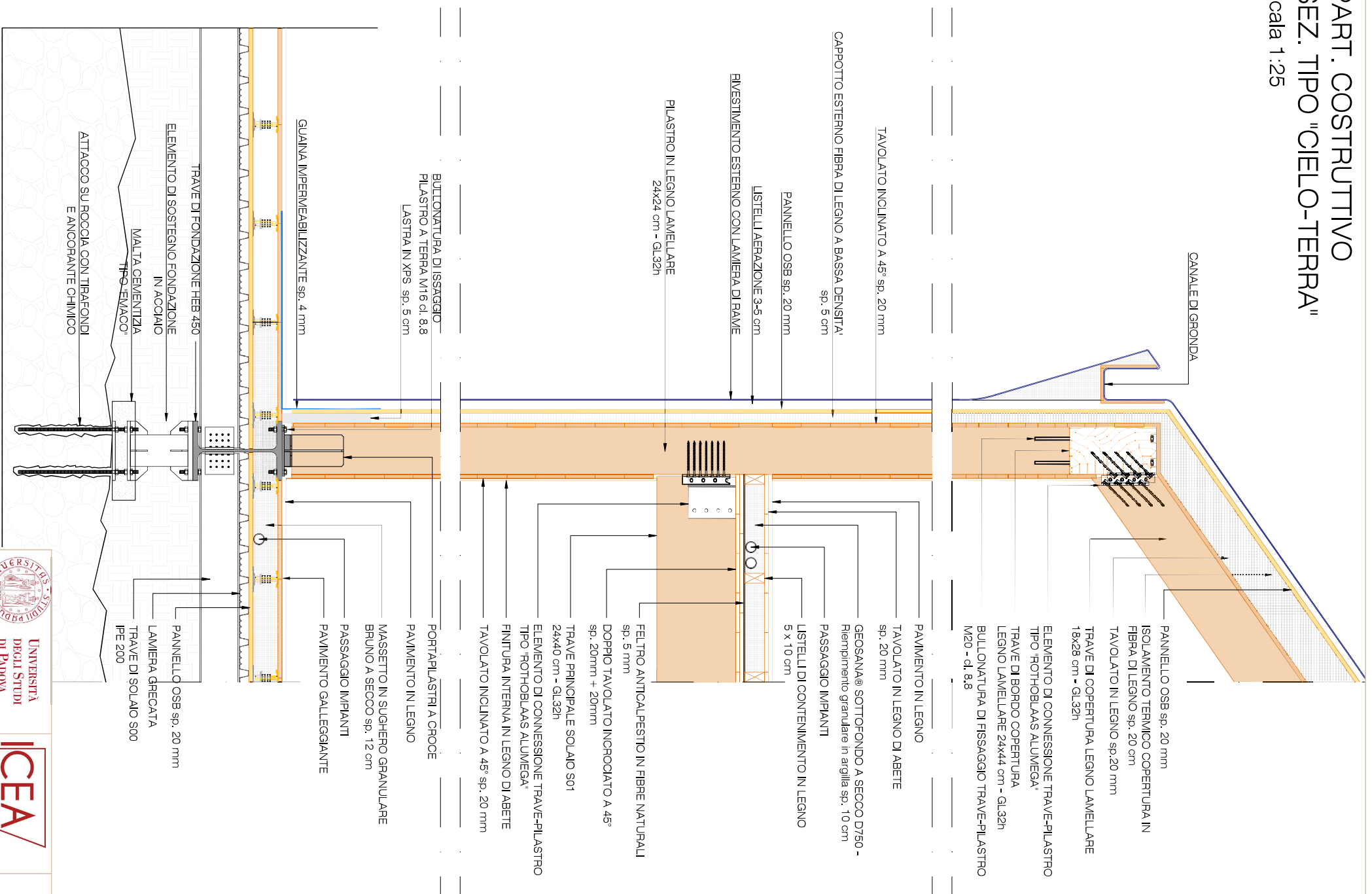
ICEA

Studente:  
Marco Lazzari 1237199

Sezioni Strutturali  
Scala 1:100

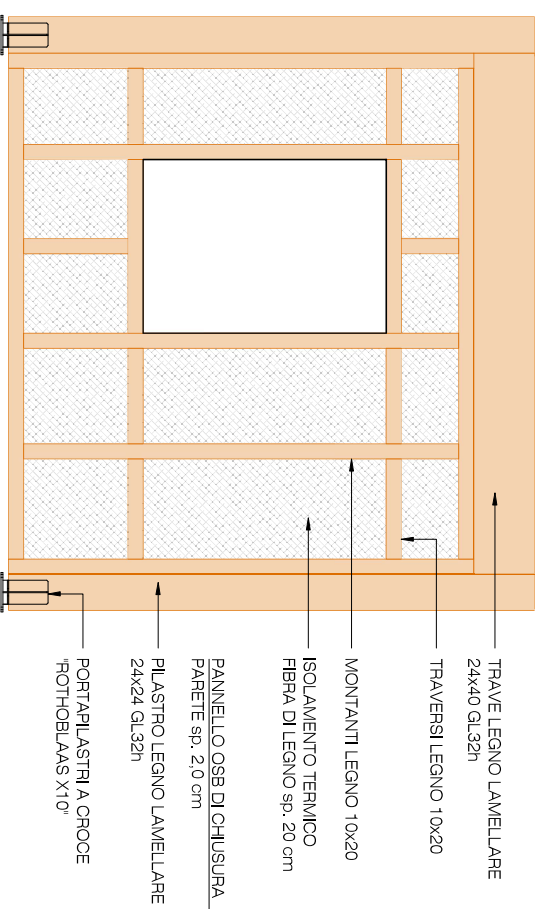


**PART. COSTRUTTIVO**  
**SEZ. TIPO "CIELO-TERRA"**  
 Scala 1:25

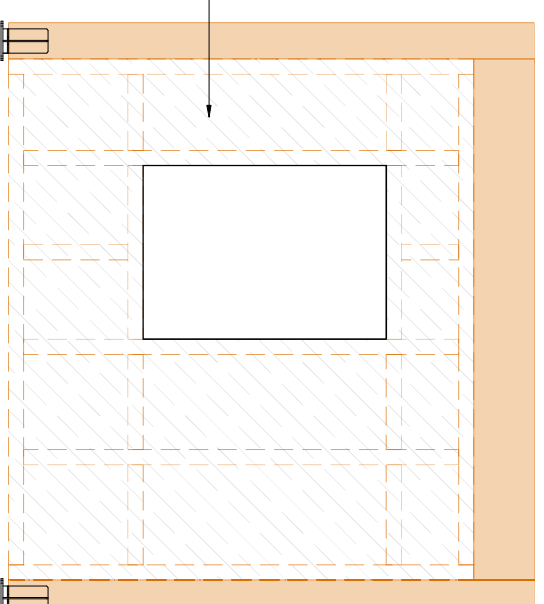


**PART. COSTRUTTIVO: PARETI**  
 Scala 1:25

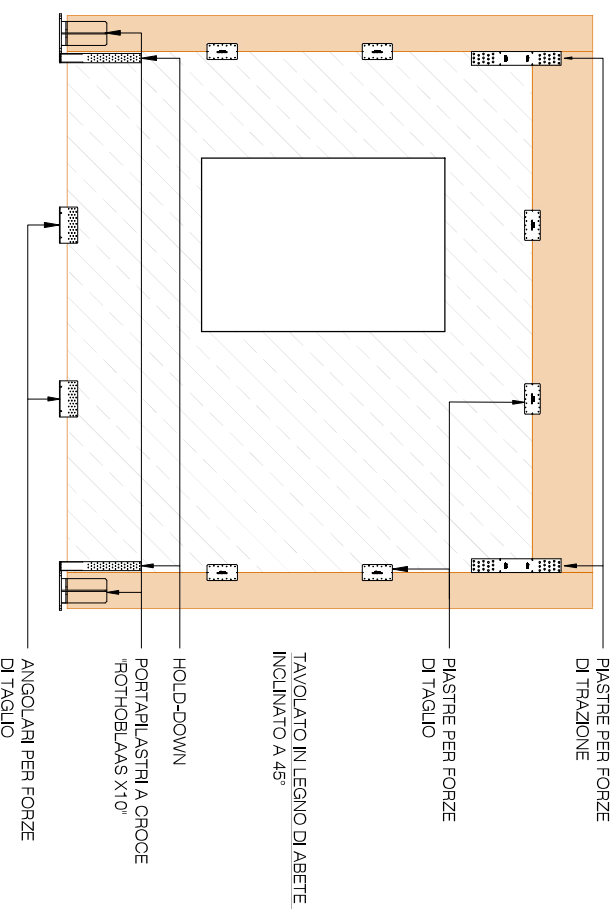
Struttura telaio - isolamento interno pannello



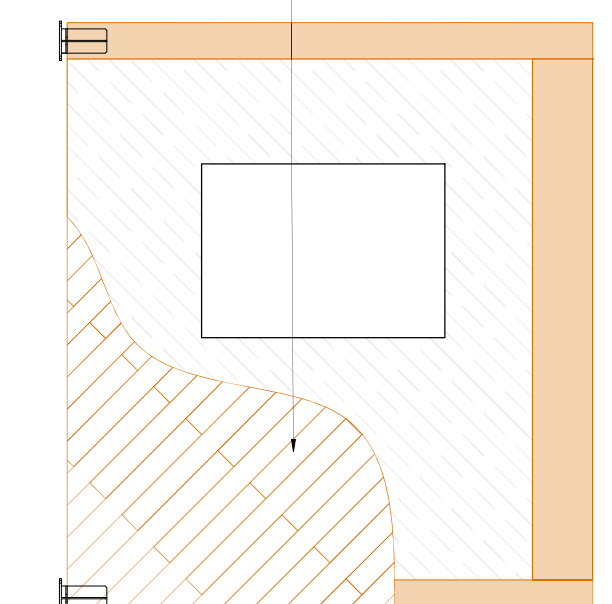
Chiusura pannello con OSB in spessore



Elementi di ancoraggio pannello su struttura portante

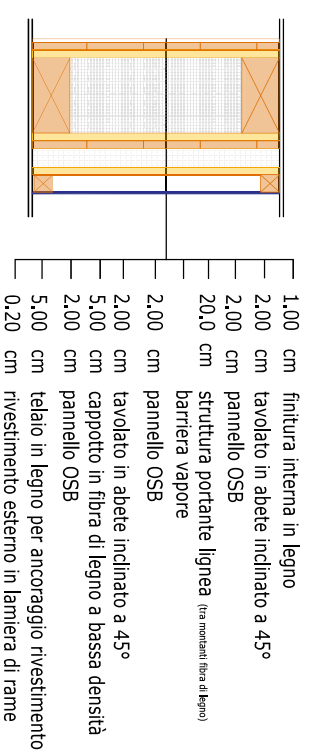


Tavolato di controventamento inclinato a 45°



**PART. COSTRUTTIVO: STRATIGRAFIA PARETI**  
 Scala 1:10

STRATIGRAFIA PARETE ESTERNA sp. 41 cm dall' interno verso l'esterno:



STRATIGRAFIA PARETE INTERNA sp. 10 cm

